

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA INFLUENCIA
DA RELAÇÃO CARBONO/AZOTO NO PROCESSO DE
COMPOSTAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS**

por

Ana Isabel Espinha da Silveira

Dissertação Apresentada à Universidade Nova de Lisboa
para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária

LISBOA 1987

RESUMO

No presente trabalho estuda-se , por via experimental, em que medida a variação da relação Carbono/Azoto influencia o processo de compostagem lenta de resíduos sólidos urbanos e a qualidade do composto produzido.

Numa instalação piloto, fez-se variar artificialmente aquela relação, adicionando papel e ureia a uma amostra de resíduos sólidos urbanos recolhida na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos de Lisboa.

Adoptaram-se as condições operatórias necessárias para que o Oxigénio, a temperatura e a humidade não impedissem o desenvolvimento do processo, triturando previamente os resíduos, revolvendo e adicionando água às pilhas.

O processo de degradação foi acompanhado regularmente durante 28 dias, através da medição da temperatura, determinação do peso, humidade, pH, Inertes, perda por calcinação, Carbono orgânico e Azoto orgânico.

Os resultados obtidos sugerem que o Carbono foi factor limitante do processo de degradação e que a adição de ureia inibiu, em certa medida, aquele processo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. J. F. Santos Oliveira, Responsável pelo Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, agradeço a direcção da dissertação de mestrado e todas as sugestões e discussões que contribuíram para a sua elaboração .

Aos Prof.s L. Kehren e Rui M. B. Ganho, agradeço a participação no Júri e o interesse e conselhos que ajudaram à realização deste trabalho.

Ao Prof. F. J. P. Santana, agradeço o apoio crítico que sempre me prestou.

Ao CEMAGREF, Groupement de Rennes, na pessoa do Engº M. Piel e dos membros da sua equipa, em particular do Engº M. Morvan , agradeço o acolhimento e os ensinamentos ao longo do estágio sobre técnicas de tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos.

Às Câmaras Municipais de Lisboa e Almada e ao Instituto Superior de Agronomia, agradeço o apoio para a realização da parte experimental deste trabalho.

À Hidroprojecto e à CESL, o meu reconhecimento pelo apoio para a consulta e elaboração das referências bibliográficas.

Agradeço também a ajuda dos meus colegas Ana Amaro, Lia Vasconcelos, Luis Ferreira, Manuel Piedade, Paula Antunes, Sérgio Rebelo e Teresa

Fernandes, que , em diferentes ocasiões, contribuíram funcional ou tecnicamente para a realização deste trabalho e, ainda, à Leonor Amaral, as provas de amizade e encorajamento que sempre me deu.

Os meus agradecimentos vão ainda para os técnicos do Laboratório, pela ajuda na execução das análises e em particular ao Sr. Francisco Silva, pela sua empenhada dedicação.

Uma palavra de gratidão para o pessoal das oficinas da Faculdade.

O meu agradecimento à Fátima, que dactilografou este trabalho.

Por fim, agradeço aos meus Pais e irmãos o apoio e carinho que sempre me dispensaram durante a realização desta dissertação.

Aos meus Pais

INDICE

1. INTRODUÇÃO	16
2. COMPOSTAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS – SITUAÇÃO ACTUAL	21
3. FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	23
4. CINÉTICA DA COMPOSTAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS.....	34
4.1. Alteração da estrutura do substracto	35
4.2 Arejamento	36
4.3. Humidade	38
4.4. Relação Carbono/Azoto	40
4.5. Temperatura	43
4.6. Inoculação	45
5. ACOMPANHAMENTO E AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	46
6. OBJECTIVO DO TRABALHO	53
7. MATERIAIS E MÉTODOS	56
7.1. Condições prévias	56

7.2. Instalação piloto de compostagem	57
7.3. Colheita dos resíduos	57
7.4. Constituição das amostras	60
7.5. Controlo do processo de compostagem	61
7.5.1. Medição das temperaturas	61
7.5.2. Revolvimento dos resíduos	61
7.5.3. Adição de água	61
7.5.4. Pesagem das células.....	62
7.6. Amostragem para análise	62
7.7. Métodos de análise	65
 8. RESULTADOS	 67
8.1. Apresentação	67
8.2. Exploração dos resultados	71
8.2.1. Parâmetros físico-químicos	71
8.2.1.1. Temperatura	71
8.2.1.2. pH	84
8.2.1.3. Humidade	84
8.2.2. Análise de dispersão dos resultados analíticos	92
8.2.3. Comparação dos métodos analíticos utilizados para determinar a matéria orgânica	94
8.2.4. Balanço ponderal	102
8.2.5. Remoção e taxas de remoção da matéria orgânica	110
8.2.6. Relação Carbono/Azoto	110
8.2.7. Células 2,3 e 4 - Composição calculada	120
 9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	 124

10. CONCLUSÕES	136
11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	137
ANEXO 1 -Determinação de inertes (método CEMAGREF-ANRED).....	149
ANEXO 2 -Determinação do Carbono orgânico (método de ANNE)	151
ANEXO 3 -Determinação do Carbono orgânico (método de ROLLE e ORSANIC)	152
ANEXO 4 -Determinação da celulose bruta	153
ANEXO 5 -Análise de inertes	155
ANEXO 6 -Influência de diversos constituintes dos resíduos sólidos nos métodos de análise	179

INDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Composição média dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Continente	18
Quadro 2 - Composição média dos resíduos sólidos urbanos repartidos por quatro zonas	19
Quadro 3 - Composição qualitativa dos resíduos sólidos urbanos em França - 1981	19
Quadro 4 - Situação relativa ao tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos em França - 1981.....	20
Quadro 5 - Composição da fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos	24
Quadro 6 - Fungos isolados durante o processo de compostagem	28
Quadro 7 - Composição química de compostos produzidos nalgumas cidades europeias	32
Quadro 8 - Composição química média do composto de resíduos sólidos de Almada	33
Quadro 9 - Tempo de compostagem	42

Quadro 10 - Relações C/N de diferentes tipos de resíduos sólidos e correspondentes compostos	51
Quadro 11 - Caracterização da amostra de resíduos sólidos utilizada no ensaio de compostagem	68
Quadro 12 - Caracterização físico-química do papel e da ureia adicionados aos resíduos sólidos	68
Quadro 13 - Temperatura do ar e dos resíduos sólidos nos dois primeiros dias do processo de compostagem	69
Quadro 14 - Temperatura média diária do ar e dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem	70
Quadro 15 - Peso húmido dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem	72
Quadro 16 - Peso húmido da amostra total recolhida e das amostras utilizadas na determinação de humidade e inertes e em análises químicas	73
Quadro 17 - Volume de água adicionado aos resíduos sólidos durante o processo de compostagem	75
Quadro 18 - Determinação do pH	75

Quadro 19 - Determinação da humidade	76
Quadro 20 - Determinação dos inertes , destacando-se os plásticos maiores que 2 mm	77
Quadro 21 - Determinação da perda por calcinação	78
Quadro 22 - Determinação do Carbono orgânico (método de ANNE).....	78
Quadro 23 - Determinação do Carbono orgânico (método de ROLLE e ORSANIC)	79
Quadro 24 - Determinação do Azoto orgânico	79
Quadro 25 - Amostra total e amostra triturada para análises químicas após se ter retirado pedras e metais	80
Quadro 26 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos não considerando o efeito do revolvimento	83
Quadro 27 - Resumo dos aspectos mais importantes referentes à evolução da temperatura dos resíduos sólidos	89
Quadro 28 - Valor médio, percentagem de variação e valor corrigido das determinações de humidade, perda por calcinação, inertes, Carbono orgânico e Azoto orgânico	93

Quadro 29 - Relações entre perda por calcinação, 100-inertes e Carbono orgânico	98
Quadro 30 - Comparação do Carbono orgânico (método de ANNE) obtidos pelas expressões $y = 0.405 x + 4.995$ e $PC - 0.9 \text{ plásticos} = 2.11 C_{\text{ANNE}} - 2.90$ a partir dos valores da perda por calcinação	103
Quadro 31 - Peso seco dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem	109
Quadro 32 - Perda em calcinação e (100 - inertes) em percentagem do peso seco dos resíduos sólidos no início do ensaio de compostagem	111
Quadro 33 - Remoção e taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica	112
Quadro 34 - Remoção acumulada da matéria orgânica	115
Quadro 35 - Relação Carbono/Azoto	117
Quadro 36 - Composições calculada e observada nas células 2, 3 e 4 apos a adição de papel e/ou ureia	123

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento de bactérias e fungos celulolíticos durante o processo de compostagem	27
Figura 2 - Crescimento de actinomicetas durante o processo de compostagem	27
Figura 3 - Curva típica da evolução da temperatura numa pilha de resíduos sólidos, indicando as fases de actividade microbiana	31
Figura 4 - Efeito da trituração na taxa de decomposição	36
Figura 5 - Efeito da temperatura na taxa de consumo de Oxigénio.....	44
Figura 6 - Evolução da composição qualitativa dos resíduos sólidos urbanos de Paris, 1946 - 1980	54
Figura 7 - Instalação piloto de compostagem	58
Figura 8 - Esquema do amostrador	63
Figura 9 - Diagrama do procedimento para a colheita de amostras	64
Figura 10- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 1.....	81

Figura 11- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 2	81
Figura 12- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 3	82
Figura 13- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 4	82
Figura 14- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 1 não considerando o efeito do revolvimento	85
Figura 15- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 2 não considerando o efeito do revolvimento	85
Figura 16- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 3 não considerando o efeito do revolvimento	86
Figura 17- Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 4 não considerando o efeito do revolvimento	86
Figura 18 - Temperatura do ar e dos resíduos sólidos nos dois primeiros dias do processo de compostagem	87
Figura 19- Temperatura média diária do ar e dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem	88
Figura 20- pH dos resíduos sólidos	90

Figura 21- Humidade dos resíduos sólidos	91
Figura 22- Regressão linear entre a perda por calcinação e o Carbono orgânico (método de ANNE)	101
Figura 23- Regressão linear entre (100 - inertes) e a perda por calcinação	101
Figura 24- Balanço ponderal - célula 1	105
Figura 25- Balanço ponderal - célula 2	106
Figura 26- Balanço ponderal - célula 3	107
Figura 27- Balanço ponderal - célula 4	108
Figura 28- Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 0 - 6 dias	113
Figura 29- Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 6 - 13 dias	113
Figura 30- Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 13 - 20 dias	114
Figura 31- Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 20 - 28 dias	114

Figura 32- Remoção acumulada de matéria orgânica	116
Figura 33- Relação Carbono/Azoto	118
Figura 34- Azoto orgânico	119
Figura 35- Composição dos resíduos e dos compostos produzidos nas células 1, 2, 3 e 4	121

1. INTRODUÇÃO

A actividade produtiva origina volumes cada vez mais importantes de resíduos que podem poluir o ambiente, degradar a natureza e constituir sérios riscos para a saúde das populações .

Os prejuízos decorrentes da deposição não controlada de resíduos podem ser minorados mediante a adopção de técnicas apropriadas de remoção e tratamento. Dispersão de poeiras, emissão de cheiros, incêndios, poluição das águas, proliferação de roedores e insectos transmissores de doenças contagiosas e degradação das condições estéticas do meio, são alguns dos prejuízos vulgarmente citados (AGHTM, 1985).

Na concepção dos sistemas de remoção e tratamento de resíduos sólidos põe-se, actualmente, particular ênfase na recuperação de materiais, com o objectivo de reduzir custos e evitar desperdícios de matérias primas. Neste âmbito, enquadra-se a recolha selectiva, com vista a permitir a reciclagem de materiais tais como o vidro, o plástico, o papel ou os metais.

Idêntica preocupação se verifica, também , quanto aos processos tradicionais de tratamento, nos quais se tenta agora incrementar a valorização de sub-produtos, embora o objectivo essencial continue a ser a

transformação dos resíduos em formas menos poluentes.

O aterro sanitário, a compostagem e a incineração, são processos tradicionais de tratamento de resíduos sólidos. A par destes, têm-se desenvolvido outros, visando recuperar matérias primas, citando-se os processos de triagem automática, de produção de combustíveis sólidos e de recuperação do metano, por fermentação anaeróbia .

A definição de uma estratégia de remoção e tratamento de resíduos, implica a respectiva inventariação, quantitativa e qualitativa. Assim, tendo presente as normas da CEE neste domínio, foram lançadas em Portugal, em 1985, as bases do sistema de registo obrigatório de resíduos e procurou-se identificar competências e responsabilidades na área da sua gestão (Decreto-Lei 488/85, de 25 de Novembro).

A caracterização dos resíduos sólidos urbanos foi testada em 1980, procurando-se obter dados, à escala nacional, relativamente às captações, quantidades produzidas, composição qualitativa e destino final (Santareno, 1983).

A captação média por distritos variou, entre um máximo de 0.670Kg/dia (Lisboa) e um mínimo de 0.410Kg/dia (Castelo Branco), concluindo-se, através dos valores determinados, que cada residente no Continente produziu, em média, 0.570Kg/dia de resíduos sólidos urbanos. Por outro lado, admitiu-se, recorrendo a estimativas feitas com o rigor possível , que a produção total de resíduos sólidos urbanos atingiria dois milhões de toneladas/ano, apresentando a seguinte composição qualitativa (Quadro 1) :

Quadro 1 - Composição média dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Continente

(Grupo de Trabalho sobre Resíduos, 1982)

Componentes	Quantidades(ton.)	%
Papel e cartão	376 354	19.0
Metais	70 737	3.6
Vídeos	57 720	2.9
Plásticos	64 340	3.2
Mat.fermentáveis	1 105 774	55.7
N.especificados	309 487	15.6
TOTAL	1 984 412	100.0

É importante também chamar a atenção para a diversidade de composição dos resíduos sólidos em função do grau de desenvolvimento económico dos centros produtores, de que o Quadro 2 dá um exemplo .

Quanto ao tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos, SANTARENO (1983), refere que todos os municípios utilizavam lixeiras a céu aberto, com excepção dos Municípios do Porto, Maia, Valongo e Espinho, (que canalizavam cerca de 50% dos resíduos recolhidos para a estação de tratamento, por compostagem acelerada, do Porto) e do Município de Lisboa, que tratava cerca de 60% dos resíduos recolhidos na estação de tratamento, por compostagem acelerada, de Beirolas.

Quadro 2- Composição média dos resíduos sólidos urbanos repartidos por quatro zonas (FERNANDES, 1982)

Zonas	Papel e cartão %	Plásticos %	Trapos %	Matéria org. fermentável %
Lisboa e Porto	22	3.5	7.5	52
Urbanos de 1ª	20	3.5	7.5	54
Rurais de 1ª	18	3.5	6.5	57
Rurais de 2ª e 3ª	16	3.0	6.0	60

A mesma fonte refere ainda a existência, em Janeiro de 1983, de 16 aterros sanitários.

A título de comparação, refira-se que, em 1981, a captação média de resíduos sólidos em França era de 0.800 Kg/dia, apresentando o material recolhido a seguinte composição qualitativa :

Quadro 3 - Composição qualitativa dos resíduos sólidos urbanos em França - 1981 (AGHTM, 1985)

Componentes	%
Papel e cartão	20 - 35
Vidros	5 - 10
Plásticos	3-6
Metais	5-8
Texteis	1-5
Elementos finos	10-20
Mat.orgânica fermentável	15-35

No que respeita ao tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos, a situação era a seguinte, segundo um inventário realizado pelo Ministério do Ambiente, referido pela mesma fonte :

Quadro 4 - Situação relativa ao tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos em França- 1981 (AGHTM, 1985)

Tipo de Tratamento	Nº de instalações	População servida em 1981 %
Incineração sem recuperação de calor	184	14.5
Incineração com recuperação de calor	34	22.0
Compostagem	94	9.4
Trituração	139	9.4
Aterros sanitários autorizados, recebendo mais do que 10 ton/dia	264	34.4
população não servida		10.3

2. COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – SITUAÇÃO ACTUAL

Compostagem, é a decomposição de materiais orgânicos heterogêneos , por acção microbiana sob condições ambientais controladas (GRAY *et al.* , 1971 a). Pode realizar-se por duas vias ,lenta e acelerada.

O processo de compostagem lenta é, geralmente, praticado a céu aberto e com menor intervenção antrópica nas condições naturais de degradação do que no caso da compostagem acelerada, realizada em recinto fechado (AGHTM, 1985).

Com o desenvolvimento da compostagem, admitiu-se, inicialmente, que se teria conseguido uma solução adequada e geral para o tratamento de resíduos, uma vez que permitiria recuperar parte dos custos envolvidos , através da venda do composto, produto com reconhecidas qualidades como condicionador de solos.

No entanto , os elevados custos de produção e a reduzida procura do produto, de baixo valor fertilizante, inviabilizaram, na generalidade dos casos, aquele pressuposto.

Actualmente, a filosofia de recuperação de materiais, já anteriormente referida, leva porém, a considerar a compostagem como uma das suas hipóteses alternativas, embora se mantenha o problema da qualidade do composto e se acentue a necessidade de se melhorarem as técnicas de separação de materiais não compostáveis (GOLUEKE, 1977 a).

O aperfeiçoamento destas técnicas de separação poderá conduzir à redução de custos, por valorização dos materiais recuperados e, deste modo , à melhoria da competitividade do composto enquanto solução do problema do destino final dos resíduos sólidos.

Por outro lado, admite-se que a adição aos resíduos sólidos urbanos de lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais e de fertilizantes, contribuirá, também, para a melhoria da qualidade do composto, pese embora a circunstância de, no caso da adição de lamas, se levantarem problemas de higienização da mistura e de incorporação de elementos tóxicos (BERTOLDI *et al.*, 1980; GOLUEKE , 1981).

3. FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos, como se verificou pela estrutura qualitativa apresentada (Quadros 1 e 3), por uma mistura de materiais de diferentes naturezas: restos de comida, papéis, metais, vidros, plásticos, pedras, etc..

A fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos é muito heterogénea. Contém materiais naturais e sintéticos, susceptíveis de sofrerem processos de degradação microbiana muito diversa (GRAY e BIDDLESTONE, 1973). Trata-se, na realidade, de uma mistura complexa de proteínas, lípidos, açúcares, celulose, amido, lenhina e minerais, podendo apreciar-se no Quadro 5 um exemplo da sua constituição .

Esta fracção orgânica pode constituir uma fonte de nutrientes para os microorganismos envolvidos no processo de compostagem (GOLUEKE, 1981).

Quadro 5 - Composição da fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos (BERTOLDI *et al.*, 1983)

Componentes	%
Proteínas	2-8
Lípidos	5 -10
Açúcares redutores	5
Celulose	35-55
Amido	2-8
Lenhina	3-8
Fósforo	0.4-0.7
Potássio	0.7-1.7

A degradação aeróbia da fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos compreende um período mesofílico inicial , durante o qual se regista uma actividade microbiana muito intensa. A população mesofílica de microorganismos, característica dos resíduos no início da compostagem, multiplica-se , à medida que vai consumindo o substracto, provocando uma elevação de temperatura da massa de resíduos.

O aumento inicial da temperatura resulta do consumo dos componentes mais facilmente assimiláveis do substracto, nomeadamente, de entre os glúcidos , os açúcares simples, como a glucose, a sacarose e a lactose e, de entre os glúcidos complexos, as hemiceluloses, o amido, a insulina e as matérias pécicas, apesar das concentrações reduzidas destes compostos nos resíduos sólidos (AGHTM, 1985).

Também durante esta fase são hidrolisadas as proteínas, que contêm a maior parte do Azoto dos resíduos sólidos e cujas formas solúveis são transformadas em protoplasma microbiano, simultaneamente com a assimilação do Carbono resultante da decomposição dos compostos carbonados. O teor de Azoto decresce, em geral, no decurso do processo de compostagem, por volatilização do Azoto amoniacal, sendo a perda considerável, nesta fase, em que, como já se disse, a actividade metabólica é muito intensa (KEHREN e VAILLANT, 1963).

Os lípidos, embora também presentes nos resíduos sólidos em concentrações reduzidas, implicam consumos de Oxigénio elevados, gerando condições de anaerobiose, responsáveis pela libertação de cheiros desagradáveis (AGHTM, 1985).

O aumento de temperatura atrás referido vai permitir a proliferação de microorganismos termofílicos, capazes de sobreviverem a temperaturas superiores a 50°C. Chaug e Hudson, referidos por Crawford (1983), afirmam que o papel dos fungos termofílicos, na fase de temperaturas elevadas, é semelhante ao das bactérias mesofílicas na fase inicial da compostagem. No período termofílico, a fracção orgânica dos resíduos é quase completamente degradada, com excepção da celulose e da lenhina, devido à sua estabilidade estrutural e dificuldade de hidrólise (KEHREN, 1981).

Na natureza, a celulose encontra-se normalmente associada à lenhina, o que retarda a sua decomposição (GOLUEKE, 1981). Segundo GOSSET *et al.*,

referidos por HAUG (1980), este atraso é devido à presença de lenhina entre as fibras de celulose, diminuindo a acessibilidade dos microorganismos à celulose. Esta acessibilidade é aumentada, aquando do tratamento mecânico ou químico (processo Kraft) para a produção de papel, cartão ou papel de jornal.

Quando a temperatura sobe acima de determinados limites (65° - 70°), entra-se numa nova fase termofílica, em que os fungos e as bactérias são substituídos por actinomicetas e por bactérias termofílicas, que formam esporos e aceleram provavelmente a hidrólise da celulose (KEHREN, 1981; GRAY *et al.*, 1971 a).

Constata-se depois um arrefecimento progressivo do composto, durante o qual se desenvolve uma nova população microbiana, com características mesofílicas.

À fase de arrefecimento sucede-se uma fase de maturação, que dura meses e tem lugar, à temperatura ambiente, com uma população de microorganismos mesofílicos. Durante esta fase, a perda de peso do material é reduzida, predominando reacções complexas de condensação e polimerização, originando-se um composto maduro. Nesta situação, não se verifica elevação de temperatura, no caso do produto ser revolvido, não se geram condições de anaerobiose e a relação C/N é próxima de 10/1 (GRAY e BIDDLESTONE, 1973).

BERTOLDI e ZUCCONI (1980) e BERTOLDI *et al.*, (1982) referem o papel dos fungos e das actinomicetas na degradação da celulose. Nas fases mais

avanzadas da compostagem , verifica-se o decréscimo do número de bactérias celulolíticas e o aumento do número de fungos celulolíticos e de actinomicetas, que beneficiam do decréscimo de temperatura, pH e humidade que então se verifica (Figuras 1 e 2).

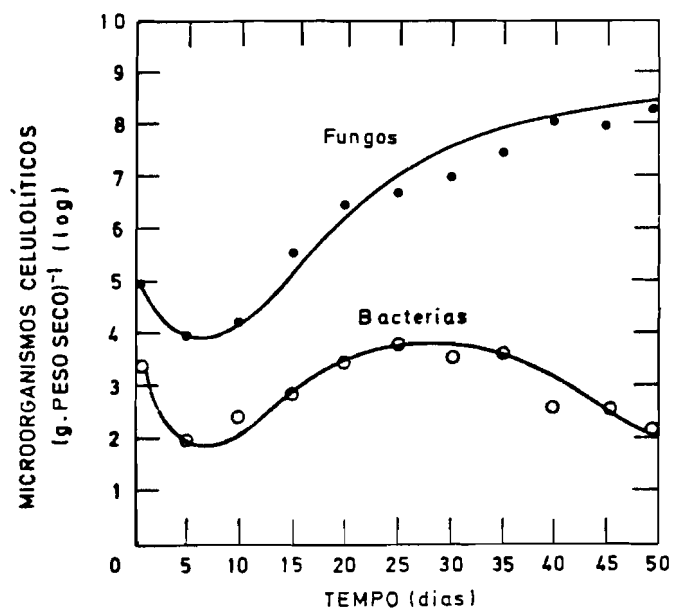


Figura 1 - Crescimento de bactérias e fungos celulolíticos durante o processo de compostagem (BERTOLDI e ZUCCONI, referidos por BERTOLDI *et al.*, 1983).

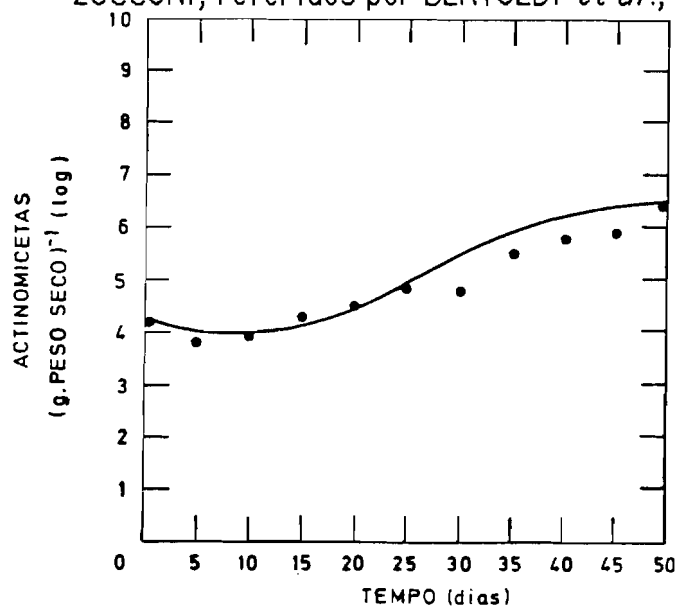


Figura 2 - Crescimento de actinomicetas durante o processo de compostagem (BERTOLDI e ZUCCONI referidos por BERTOLDI *et al.*, 1983)

Algumas das espécies de fungos isoladas durante o processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos apresentam-se no quadro 6 (BERTOLDI e ZUCCONI, referidos por BERTOLDI *et al.*, 1983). Os fungos termofílicos foram isolados a 50°C e os mesofílicos a 28°C, e caracterizados de acordo com a sua actividade enzimática em celulolíticos, pectinolíticos, amidolíticos e lenhinolíticos.

Quadro 6 - Fungos isolados durante o processo de compostagem (BERTOLDI e ZUCCONI referidos por BERTOLDI *et al.*, 1983) (A - Celulolíticos; B - Pectinolíticos; C - Amídolíticos; D - Lenhinolíticos)

Termofílicos

<i>Absidia ramosa</i>	<i>Humicola lanuginosa</i>
<i>Allescheria terrestris</i>	<i>Lenzites sp.</i>
<i>Mucor pusillus</i>	<i>Penicillium duponti</i>
<i>Chaetomium thermophilum</i>	<i>Scytalidium thermophilum</i>
<i>Talaromyces thermophilis</i>	<i>Sporotrichum thermophile</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Thermoascus aurantiacus</i>
<i>Humicola insolens</i>	<i>Micelia sterilia</i>

Mesofílicos

	A	B	C	D
Ascomycotina				
<i>Allescheria terrestris</i>	+			+
<i>Chaetomium sp.</i>	+			
<i>Dasyscypha sp.</i>				+
<i>Emericella nidulans</i>			+	
<i>Mollisia sp.</i>				+
<i>Thermoascus aurantiacus</i>	+			+
Basidiomycotina				
<i>Armillaria mellea</i>	+			+
<i>Clitopilus insitus</i>	+			+
<i>Coprinus cinereus</i>	+			+

	A	B	C	D
<i>Fomes</i> sp.	+			+
<i>Lentinus lepideus</i>				+
<i>Lenzites trabea</i>	+			+
<i>Pleurotus ostreatus</i>	+			+
<i>Polyporus versicolor</i>	+			+
Deuteromicotina				
<i>Alternaria tenuis</i>	+			
<i>Artrobotrys oligospora</i>	+			
<i>Aspergillus amstelodami</i>	+			
<i>Aspergillus</i> sp.	+			
<i>Botryotrichum piluliferum</i>	+			
<i>Cephalophora tropica</i>	+			
<i>Cephalosporiopsis alpina</i>	+			
<i>Cephalosporium</i> sp. 1	+	+	+	
<i>Cephalosporium</i> sp. 2	+	+	+	
<i>Cephalosporium</i> sp. 3	+			
<i>Cephalosporium</i> sp. 4	+			
<i>Cladosporium herbarum</i>	+		+	
<i>Doratomyces</i> sp.	+			
<i>Geotrichum candidum</i>	+		+	
<i>Gliocladium</i> sp.				+
<i>Gliomastox murorum</i>	+		+	
<i>Graphium</i> sp.			+	
<i>Harpographium</i> sp.			+	
<i>Leptographium lundbergii</i>	+		+	
<i>Paecilomyces</i> sp.	+			
<i>Penicillium</i> sp. 1	+			
<i>Penicillium</i> sp. 2	+		+	
<i>Phlyctaena</i> sp.			+	
<i>Rhinocladiella astrovirens</i>	+			
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	+			
<i>Scopulariopsis</i> sp.	+			
<i>Sporotrichum thermophile</i>	+			+
<i>Stachybotrys</i> sp.	+	+	+	
<i>Trichoderma viride</i>	+		+	

GRAY e BIDDLESTONE (1973) consideram que o ataque mais intenso da celulose verifica-se na fase final do processo de compostagem, quando a temperatura começa a descer abaixo de 60°C. Como é um processo lento, influencia pouco a temperatura, que vai diminuindo até atingir a temperatura ambiente.

A lenhina é, das moléculas constituintes da fracção orgânica dos resíduos, uma das mais resistentes ao ataque microbiano (CRAWFORD, 1983; BERTOLDI *et al.*, 1982). Segundo GERRITS, citado por CRAWFORD (1983), a lenhina é fracamente degradada nos primeiros 2-3 meses de compostagem.

CRAWFORD (1983), refere que só depois de os componentes facilmente degradáveis terem sido utilizados é que as fontes de carbono mais complexas, do tipo de hemiceluloses complexas, celulose e lenhina, são atacadas. Trata-se de polímeros de elevado peso molecular, que não podem atravessar a parede celular. Deste modo, é necessário que um grupo específico de microorganismos segregue enzimas extracelulares que hidrolisem estes polímeros em unidades mais simples que, depois, podem ser utilizadas pela maior parte dos microorganismos.

WASKMAN *et al.*, (1939 a), nos seus ensaios de degradação de estrume de cavalo, verificaram que esta foi aproximadamente igual às temperaturas de 28°C e 65°C, mais elevada a 50°C, não tendo havido degradação a 75°C. Degradam-se, principalmente, a celulose e as hemiceluloses, sendo estes fenómenos mais intensos a 50°C. Foi também a 50°C que se verificou maior degradação da lenhina, embora essa degradação tenha sido reduzida, a

qualquer das temperaturas.

WASKMAN observou ainda que a população dominante, responsável pela degradação, variava segundo a temperatura :

a 28°C, dominava uma população muito heterogénea, constituída fundamentalmente por fungos e bactérias;

a 55°C, dominavam fungos e actinomicetas;

a 65°C, dominavam actinomicetas.

Concluiu-se, assim, que existia uma relação significativa entre a temperatura, a população microbiana e a natureza do substrato.

Na Figura 3 apresenta-se a curva típica da evolução da temperatura em função do tempo, numa pilha de composto .

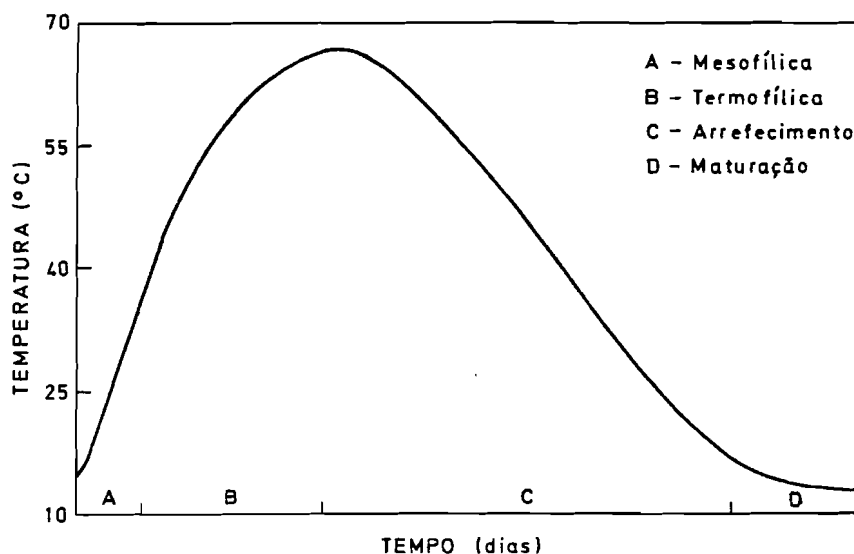


Figura 3 - Curva típica da evolução da temperatura numa pilha de resíduos sólidos, indicando-se as fases de actividade microbiana (GRAY *et al.*, 1971a)

O composto obtido na sequência das transformações verificadas no decurso da compostagem, tem uma constituição variável com a matéria prima de que se parte e com o processo de compostagem utilizado. No Quadro 7, apresenta-se a composição química de compostos produzidos nalgumas cidades europeias.

Quadro 7 - Composição química de compostos produzidos nalgumas cidades europeias (CAMPOS e SANTOS, 1986)

Parâmetros	Frankfurt	Bruxelas	Melun (França)	Mons (Bélgica)	Seine- et-Marne (França)	Gaud (Bélgica)
Humidade (%)	35	39	35	24	32	40
Matéria org. (%)	23.8	23.3	15	34.5	30	27.3
pH	7.7	7.5	7.8	7.3	7.7	--
Macroelementos(%)						
N total	0.70	0.33	0.90	1.0	0.60	1.30
P ₂ O ₅	0.60	50ppm	0.60	--	0.70	0.26
K ₂ O	0.50	500ppm	0.30	0.30	0.30	0.97
MgO	0.70	140ppm	0.30	0.14	0.70	0.60
CaO	5.00	1.50	4.00	2.02	6.80	4.60
Oligoelementos(ppm)						
B	32	1.74	31	--	15	17
Cu	266	--	250	51	500	210
Mn	511	253	600	300	460	650
Zn	1 000	27	27	700	1120	1050
Fe	--	--	--	1650	2900	2200
Elementos tóxicos(ppm)						
Cd	3.7	0.6	0.6	2.75	--	5
Ni	--	--	--	7.8	--	100
Pb	2.29	15	15	97	--	850
Hg	2	--	--	--	--	--
Cr	--	--	--	--	--	200
As	7.2	--	--	--	--	--

No que respeita ao nosso País poderemos , a título de exemplo, apresentar, no Quadro 8, a composição química do composto produzido, a partir de resíduos sólidos de Almada, na Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Quadro 8 - Composição química média do composto de resíduos sólidos de Almada (OLIVEIRA, 1986)

Parâmetro	Média	Valores extremos
C-Total (%)	21.37	
N-Total (%)	0.96	
P-Total em P_2O_5	9.14	7.71-10.56
K em K_2O	2.38	2.01-2.76
Magnésio	2.19	1.88-2.50
Cálcio	44.10	37.20-50.99
Sódio	2.98	2.44-3.50
Cloro	1.87	1.27-2.47
Enxofre	3.82	2.73-4.90
Cobre	0.357	0.22-0.49
Manganésio	0.854	0.75-0.96
Ferro	17.11	13.86-20.36
Zinco	1.52	1.29-1.76
Chumbo	0.599	0.42-0.78
Cádmio	0.0085	0.007-0.010
Mercúrio	0.0034	0.0022-0.0047
Crómio	0.219	0.18-0.25
Níquel	0.196	0.17-0.22
Boro	0.150	0.064-0.245

4 . CINÉTICA DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A compostagem de resíduos sólidos urbanos implica uma série de acontecimentos intermédios (HAUG, 1980), nomeadamente :

- produção de enzimas extracelulares e transporte destas para a superfície do substrato;
- hidrólise das moléculas do substrato;
- transporte por difusão das moléculas solúveis através da parede celular;
- transporte do Oxigénio através dos espaços vazios;
- transporte de Oxigénio através da interface gás-líquido;
- transporte por difusão do Oxigénio através da fase líquida;
- transporte por difusão do Oxigénio através da parede celular;
- oxidação em aerobiose do substrato, pelos microorganismos.

Qualquer um destes fenómenos, todos de difícil controlo, pode influenciar e limitar a taxa de decomposição do substrato, sendo, assim, importante, que exista a possibilidade de intervir no processo, de forma a que ele decorra nas condições mais favoráveis. Os principais factores que agem sobre a degradação em aerobiose dos resíduos sólidos urbanos são .

- alteração da estrutura do substrato;

- arejamento;
- humidade;
- relação Carbono/Azoto;
- temperatura;
- inoculação .

Quanto mais próximo estiverem todos os factores das condições óptimas de funcionamento dos microorganismos, maior é a taxa de degradação da fracção orgânica dos resíduos sólidos. É importante que tal se verifique em relação a todos os factores, porque os sistemas biológicos operam, fundamentalmente, segundo o princípio do factor limitante, ou seja, a taxa de actividade dos microorganismos é determinada pelo factor que estiver mais afastado do valor óptimo. (Lei do mínimo de LIEBIG) .

4.1. Alteração da estrutura do substracto

A redução da dimensão dos resíduos sólidos urbanos aumenta a superfície susceptível de ser atacada pelos microrganismos, diminuindo a resistência natural dos resíduos à sua degradação. Além disso, aquela redução melhora as condições de acessibilidade do Oxigénio, levando a uma decomposição mais rápida e mais uniforme (GOTAAS, 1959).

ARDITI, citado por GRAY *et al.*, (1971 b) estudou o efeito do tamanho das partículas na taxa de decomposição (Figura 4).

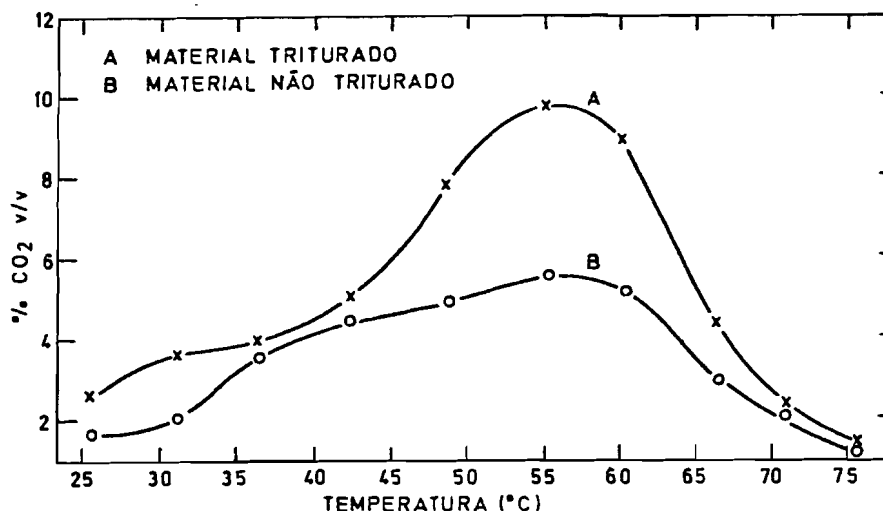


Figura 4 - Efeito da trituração na taxa de decomposição

Da análise da Figura 4 conclui-se que a taxa de decomposição duplica a 55°C, quando os resíduos são triturados.

Na prática, a redução da dimensão dos resíduos sólidos é obtida através da utilização de dilaceradores e trituradores. A dilaceração e a trituração são, contudo, operações onerosas (GLAUB *et al.*, 1984) e têm limitações, pois é necessário conservar um número suficiente de interstícios para a circulação de ar (BERTOLDI *et al.*, 1983).

4.2. Arejamento

O arejamento dos resíduos sólidos urbanos, em compostagem, é necessário para satisfazer a carência estequiométrica de Oxigênio, e, em algumas circunstâncias, para remover o excesso de calor e de humidade, sendo, por

isso, considerado como o principal factor de determinação da degradação aeróbia (KEHREN, 1985).

BERTOLDI *et al.*, (1982), afirmam que se obtêm melhores resultados físicos, químicos e microbiológicos, quando são utilizados sistemas de compostagem em pilhas estáticas arejadas, em vez de sistemas em que se recorre a pilhas revolvidas periodicamente.

GOTAAS (1959), considera que, no caso das pilhas periodicamente revolvidas, esta operação constitui o mecanismo principal de arejamento.

HAUG (1980), criticando esta afirmação, apresenta cálculos, que procuram provar que, mesmo que cada vez que se revolva a pilha todo o ar dos espaços vazios seja substituído, este volume do ar é ainda insuficiente para fornecer o Oxigénio necessário para a degradação da matéria orgânica, sem considerar mesmo as outras necessidades de Oxigénio.

Chega, por isso, à conclusão de que a ventilação natural é o mecanismo fundamental de arejamento dos resíduos, resultante do movimento da massa de ar do interior da pilha para o exterior, em resposta a um gradiente de energia. O ar dentro da pilha, quente e húmido, é menos denso que o ar ambiente (menos húmido), originando-se assim uma corrente no sentido do ar menos denso. Deste modo, o ar é substituído dentro da pilha.

A partir daqui, HAUG concluiu que o revolvimento das pilhas destina-se apenas a aumentar o volume de vazios, devido à tendência para a compactação do material.

A ventilação natural é favorecida pelo tamanho das partículas, porque, deste modo, serão maiores os espaços entre elas. Por outro lado, a difusão do Oxigénio dentro das partículas decresce, à medida que aumenta a respectiva espessura, conduzindo à diminuição da taxa de degradação. As partículas, devem, por isso, ter uma dimensão que permita um equilíbrio entre estes dois efeitos contraditórios (HAUG,1980).

4.3. Humidade

O teor de humidade compatível com a compostagem está intimamente relacionado com as necessidades de água, indispensáveis à actividade biológica.

LOSSIN, referido por GOLUEKE (1977 b), verificou que o teor de humidade é factor limitante da compostagem. Com efeito, segundo aquele autor, o composto fresco com 45% de humidade, requer 263 mm³/grama hora de Oxigénio, e o mesmo tipo de material, com 60% de humidade, consome 306 mm³/grama hora de Oxigénio.

Humidade deficiente diminui a taxa de degradação da matéria orgânica, porque limita o transporte das substâncias solúveis (HAUG, 1980). Por outro lado, humidade em excesso diminui igualmente aquela taxa, porque limita o transporte de Oxigénio.

Os teores óptimos de humidade rondam os 50 - 70 % (GRAY *et al.*,1971 b).

Com efeito, será 50% nos casos de compostagem em pilhas , estáticas ou revolvidas periodicamente e 70% no caso de sistemas agitados mecanicamente, com injeção de ar.

Teores de humidade abaixo dos 25 - 30 % reduzem muito a actividade microbiana (GRAY *et al.* , 1971 b) e, para teores da ordem dos 12%, aparentemente cessa a actividade biológica (GOLUEKE, 1977 b).

Em geral, o teor de humidade vai diminuindo durante o processo, tornando aconselhável a adição de água. Esta adição deve efectuar-se durante o revolvimento dos resíduos, não sendo suficiente o espalhamento superficial, quando os resíduos estão em pilha (GOLUEKE, 1977 b).

Segundo KEHREN (1985), é de evitar a adição de água na última fase termofílica da compostagem , quando o composto atingiu já um grau de transformação suficiente . Além disso, não há interesse em que a degradação da matéria residual continue e que o teor de humidade no composto final ultrapasse os 30%.

Uma queda brusca na temperatura, durante a compostagem, pode ser índice de um teor inadequado de humidade.

A aparência do composto indica de uma forma grosseira o excesso ou a deficiência de humidade. Quando em excesso, a água escorre, quando em défice, o composto toma o aspecto de terra solta (GOLUEKE, 1977 b).

4.4. Relação Carbono/Azoto

A composição elementar dos resíduos exerce uma influência determinante na velocidade e na extensão do processo de decomposição desses resíduos (GOLUEKE, 1981). É necessário que os elementos estejam presentes na relação correcta, uns em relação aos outros.

Na compostagem, a relação entre elementos que mais tem merecido a atenção dos investigadores, é a relação C/N (HAUG, 1980). Esta relação indica a aptidão do substrato para ser degradado, pois o seu valor inicial afecta a velocidade de decomposição do material (BERTOLDI *et al*., 1983; ZUCCONI e BERTOLDI, 1982 ; GOLUEKE, 1977 b).

Diversos autores referidos por KEHREN (1985), indicam que os microorganismos utilizam 2/3 do Carbono para a produção de energia, libertando Dióxido de Carbono e que 1/3 é combinado com o Azoto para a produção de novas células. Do mesmo modo , ALEXANDER, citado por CRAWFORD (1983), afirma que 20 a 40 % do substrato carbonado é assimilado sob a forma de novas células e que o restante é oxidado.

Segundo o mesmo autor, as células contêm 50% de Carbono e 5% de Azoto, donde se deduz que a necessidade de Azoto para os microorganismos é de 2 a 4% do Carbono inicial. A relação C/N inicial deverá, por isso, situar-se entre 25-50/1 e a actividade microbiana tenderá a reduzir esta relação para 10/1, no protoplasma.

Os valores óptimos indicados pelos diferentes autores são muito variáveis. Assim, uma relação C/N inicial ótima de 25/1, é aconselhada por BERTOLDI *et al.* (1983), de 30/1 por HAUG (1980), de 20 - 30/1 por GOLUEKE (1981), de 30 - 35/1 pelo grupo da Universidade da Califórnia, referido por GOTAAS (1959).

A relação máxima aceitável depende do grau de resistência dos componentes carbonados presentes ao ataque microbiano. Se o Carbono está em formas menos disponíveis, como é o caso do Carbono sob a forma de lenhina, relações C/N mais elevadas, da ordem dos 35-40/1, são permitidas (GOLUEKE, 1977 b). Se o Carbono está na sua maior parte disponível, relações C/N aceitáveis devem estar mais próximas do valor ótimo.

Se a relação C/N inicial for demasiado elevada, a população microbiana vai-se mantendo, degradando compostos carbonados, produzindo Dióxido de Carbono e libertando energia. Devido à deficiência do Azoto disponível, a formação de novas células é atrasada e são necessários vários ciclos de vida dos microorganismos para se libertar o Azoto celular indispensável à formação daquelas células. A relação Carbono/Azoto vai diminuindo, à custa da redução do Carbono, enquanto que o Azoto é reciclado (GOLUEKE, 1977 b).

Se a relação C/N inicial for demasiado baixa, a quantidade de Carbono existente é menor do que a necessária para converter o Azoto em material celular. Os microorganismos utilizam, nesse caso, o Azoto de acordo com a quantidade de Carbono disponível e eliminam o excesso de Azoto, sob a

forma de Amóníaco. Se o excesso de Azoto for demasiado, poderá mesmo formar-se Amóníaco em quantidades suficientes para provocar fenómenos de toxicidade na população microbiana (GOLUEKE, 1977 b).

Estudos feitos na Universidade da Califórnia, citados por GOTAAS (1959), sobre a compostagem de resíduos sólidos urbanos, referem que os dias necessários para a estabilização de compostos originados a partir de resíduos sólidos com diferentes relações C/N iniciais, são os seguintes :

Quadro 9 - Tempo de compostagem

Relação C/N	Tempo de compostagem (dias)
20	9 - 12
30-60	10-16
78	21

Uma relação C/N elevada pressupõe, assim, um tempo excessivo para a compostagem. Relações elevadas não permitem a condução da compostagem por forma satisfatória, com eficiente uso do equipamento e de espaço disponível, produzindo um composto de boa qualidade (GOLUEKE, 1977 b).

A aplicação ao solo de um composto com uma relação C/N elevada é prejudicial, devido à formação de metabolismos intermédios da

degradação, os quais não são compatíveis com o normal crescimento das plantas (ZUCCONI *et al.*, 1981 a, b) e, devido, também, à competição pelo Azoto, entre os microorganismos e as raízes, afectando a nutrição das plantas (GOLUEKE, 1977 b).

Na prática, a correcção da relação C/N é possível, através da recuperação do papel ou da adição de materiais ricos em Azoto. GOLUEKE (1977 b) refere que, na Universidade da Califórnia, utilizando-se um processo de separação de papel, foi possível reduzir a relação C/N para 16 - 20/1.

4.5. Temperatura

A taxa das reacções químicas é função da temperatura. ARRHENIUS demonstrou que a taxa das reacções químicas e a temperatura estavam relacionadas exponencialmente. Esta relação pode ser aplicada aos fenómenos biológicos, com algumas restrições.

SNELL, ARDITTI, SCHULZE, referidos por GRAY *et al.* (1971 b), SULLER e FINSTEIN (1977) e outros investigadores referidos por HAUG (1980), mediram a taxa de actividade microbiana, através do consumo de Oxigénio ou da produção de Dióxido de Carbono, em função da temperatura, em diversas situações. Em todos os casos, verificou-se o aumento da taxa de degradação com o aumento da temperatura, até um determinado limite, a partir do qual a taxa de reacção diminuía (Figura 5).

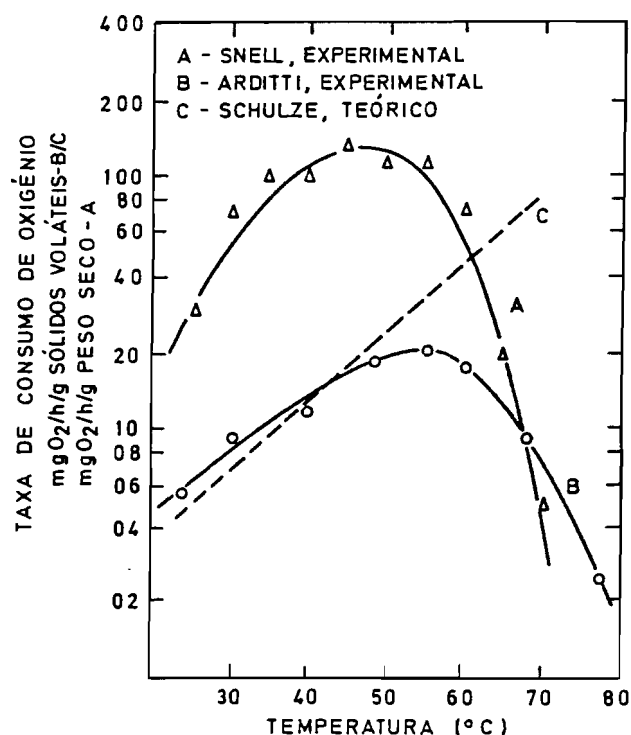


Figura 5 - Efeito da temperatura na taxa de consumo de Oxigênio (SNELL, ARDITTI, SCHULZE, referidos por GRAY *et al.*, 1971 b)

Temperaturas mais elevadas não significam, portanto, taxas de degradação mais elevadas. Isto explica-se devido ao efeito da temperatura na inactivação das enzimas e não a outros efeitos, tais como a necessidades acrescidas de Oxigênio.

A temperatura óptima de funcionamento do sistema de compostagem, a que corresponde a taxa máxima de degradação, não está bem definida, variando entre 45°C e 70°C (WASKMAN, 1939 a; McKINLEY e VESTAL, 1984, 1985; McKINLEY *et al.*, 1985 a, b; NAKASAKI *et al.*, 1985).

4.6. Inoculação

OBRIST (1963), FARKASDI (1963), GOLUEKE (1977 b), entre outros, concluíram, dos ensaios que realizaram, que a influência da utilização de inóculos no processo de compostagem não é significativa. A população microbiana existente nos resíduos sólidos urbanos é suficiente para os decompor e, desde que as condições do meio sejam convenientes, a flora microbiana multiplica-se rapidamente, sem que se retarde a compostagem (GOLUEKE *et al.*, citado por GOTAAS, 1959). Apesar de não haver dúvidas de que os resíduos orgânicos se decompõem, através da flora própria que contêm, tal não significa que a sua concentração não seja limitante, principalmente na fase inicial da compostagem, sendo esse efeito responsável pelo aparecimento de uma fase de latência (HAUG, 1980). No entanto, diversos ensaios realizados sobre este assunto não permitem tirar conclusões coincidentes (JERIS e REGAN, McGAUHEY e GOTAAS, referidos por HAUG, 1980; GOLUEKE, 1977 b).

5. ACOMPANHAMENTO E AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Na compostagem, pretende-se a obtenção, como produto final, de um composto estabilizado, com determinadas características, o que pressupõe a capacidade de intervenção no respectivo processo. Esta capacidade depende da existência de métodos fiáveis de acompanhamento da forma como o processo decorre e de determinação da estabilidade do composto obtido. Produtos de má qualidade e dificuldades na condução do processo são muitas vezes originados pela não aplicação de métodos de controlo apropriados e consequentes intervenções nos momentos oportunos.

O acompanhamento do processo de compostagem envolve a determinação da matéria orgânica, ou de certas substâncias, tais como o amido e a celulose, ou, ainda, a utilização de métodos físicos que dão a medida da sua decomposição, tais como a medição da temperatura, do pH, a determinação da humidade, etc..

Alguns métodos necessitam de colheita de uma amostra obrigatoriamente pequena, o que limita a sua representatividade, dada a heterogeneidade dos resíduos sólidos. Por outro lado, representam apenas medidas instantâneas de um processo dinâmico. O acompanhamento de um processo de degradação implicaria, por isso, necessariamente, a recolha de várias amostras ao longo do tempo.

Os sistemas de compostagem acelerada pressupõem um controlo mais

directo do que os sistemas de compostagem lenta. Neste último caso, a necessidade de arejamento, comandada pela temperatura e a diminuição da humidade, são, por vezes, utilizadas para avaliar a decomposição dos resíduos sólidos (FINSTEIN *et al.*, 1986; MOOLJMAN *et al.*, 1987; ECCLES e STENTIFORD, 1987; CARDENAS, 1977). O primeiro destes métodos, baseia-se no facto de, acima de 55-60°C, a taxa de decomposição da matéria orgânica diminuir (MacGREGOR *et al.*, 1981). Para evitar que a temperatura da massa dos resíduos ultrapasse aqueles valores, é accionado, automaticamente, um sistema de ventilação, que remove o calor em excesso e assegura a oxigenação. Este método está relacionado com a totalidade da massa e não com uma amostra. Fornece, por isso, dados instantâneos, sem significado em valor absoluto, mas com interesse, se for seguida a sua evolução através do tempo. Este método foi testado por BERTOLDI *et al.*, (1982), com bons resultados.

A utilização adequada do composto em Agricultura, traz benefícios para o sistema solo-planta, citando-se, entre outros, o aumento da capacidade de retenção de água e ar e a regularização do fornecimento de nutrientes às plantas, especialmente aquando da adição de fertilizantes (HOLMES, 1981).

A utilização inadequada deste produto é, por sua vez, fundamentalmente devida ao emprego do composto insuficientemente estabilizado, o que provoca danos nas culturas, contribuindo para a desconfiança dos agricultores, relativamente às vantagens da sua aplicação (BENISTANT, 1978; BERTOLDI e ZUCCONI, 1980; ZUCCONI e BERTOLDI, 1982).

A estabilização envolve a redução das substâncias facilmente degradáveis,

durante o tratamento por compostagem, permanecendo no composto nutrientes sob a forma de protoplasma microbiano ou de compostos orgânicos, de degradação mais lenta, que deverão evoluir no solo (GOLUEKE, 1974, 1976). ZUCCONI *et al.*, (1981 a, b) verificaram que a fitotoxicidade, associada à utilização de compostos, é devida ao seu emprego em estádios em que estão ainda presentes materiais orgânicos facilmente degradáveis. DeVLEESCHAUWER *et al.*, (1981), associam a toxicidade de compostos não estabilizados à presença de níveis elevados de Ácidos Acético, Propiónico e Butírico. Estes ácidos orgânicos voláteis desaparecem com a estabilização.

Deve assinalar-se, no entanto, que a decomposição, levada para além do necessário, produz um composto demasiadamente mineralizado, com menor qualidade como condicionador orgânico; grande parte da matéria orgânica é transformada em Dióxido de Carbono e água e o produto final contém uma grande percentagem de inertes. Isto é sinónimo, em termos económicos, de má utilização do equipamento e da área disponível (KELLER, 1960; HORSTMANN, 1961).

Um composto que sofreu compostagem durante menos tempo do que outro, pode estar mais estabilizado, se evoluiu em melhores condições. O problema está na definição do momento a partir do qual é desnecessário manter o produto em compostagem.

Torna-se, assim, indispensável, a existência de um método que permita definir o grau de estabilidade do composto, que deverá ser capaz de permitir a distinção, com rapidez e facilidade, entre compostos

de estações de compostagem distintas, ou com diferentes composições.

KELLER (1960), BENISTANT (1978), NICOLARDOT (1979) e HAUG (1980), efectuaram revisões críticas dos métodos desenvolvidos para apreciação da estabilidade do composto, concluindo que todos apresentam limitações importantes: uns porque são apenas qualitativos, outros porque conduzem a resultados demasiadamente influenciados pela composição do material inicial, só tendo, por isso, significado quando se acompanha a sua evolução ao longo de um determinado período, outros, ainda, por serem excessivamente complexos, só podendo ser aplicados em laboratórios com algum grau de sofisticação.

Citam-se, entre esses métodos, a determinação do pH, a determinação da capacidade de auto-aquecimento (COSSU *et al.*, 1984), o declínio da temperatura no fim dos ensaios em regime descontínuo (GOLUEKE *et al.*, 1980), a determinação do potencial redox (TEPE *et al.*, 1966), ou da matéria orgânica degradável (COSSU *et al.*, 1984), a dosagem dos sólidos voláteis, do amido e celulose, de nitratos e ião amónio (TEPE *et al.*, 1966), da relação C/N e dos compostos húmicos (ROLLETO *et al.*, 1985).

Podem citar-se, também, entre aqueles métodos, a dosagem do ATP, o crescimento de fungos (OBRIST, 1965), o consumo de Oxigénio (CHROMETZKA, 1968; GERMON *et al.*, 1980; NICOLARDOT *et al.*, 1986), a produção de Dióxido de Carbono, a actividade enzimática (GODDEN, 1986) e os ensaios de germinação ou recorrendo a plantas como indicadores de fertilidade.

A relação C/N tem sido o índice mais correntemente utilizado, para a

determinação da estabilidade de um composto. A Norma Suíça (HISCHHEYDT, 1977) distingue composto fresco, semi-maduro e maduro, conforme critérios baseados no aquecimento observado durante a fermentação, na relação C/N e em ensaios de germinação. O Carbono é determinado a partir da análise da perda de peso por calcinação.

Em França, a Circular 2048, de 22 de Abril de 1966, do Ministério da Agricultura, refere que o composto de resíduos sólidos urbanos deve ter uma relação C/N entre 10 e 25 (GIROD, 1982; NICOLARDOT, 1979). A Norma AFNOR NFU 44 051, distingue também composto fresco, semi-maduro e maduro, consoante esteve sujeito a fermentação durante 4 dias, a fermentação termofílica, seguida de maturação incompleta, ou a fermentação termofílica, seguida de maturação completa. A mesma Norma estabelece que a relação máxima da matéria orgânica/Azoto orgânico deve ser respectivamente, 60 e 50, nos dois últimos casos, tratando-se de resíduos sólidos urbanos. Ambas as normas fogem à determinação directa do Carbono orgânico, dada a complexidade a ela inerente.

A utilização da relação C/N põe problemas, pois, por um lado, a determinação do Carbono não está normalizada, existindo tantos tipos de relação C/N quantos os métodos de determinação do Carbono, o que torna difícil a comparação entre produtos; por outro lado, o valor limite da relação C/N, a partir do qual o composto é considerado maduro, varia consoante o tipo de materiais. A verdade é que a relação C/N, determinada na amostra seca dos compostos, não pode ser utilizada como indicador absoluto da respectiva estabilidade.

HIRAI *et al.*, (1983) desenvolveram, por isso, um método de avaliação da estabilidade do composto, baseado na relação C/N, mas determinada nos extractos aquosos dos compostos (Quadro 10).

Quadro 10 - Relações C/N de diferentes tipos de resíduos sólidos e correspondentes compostos

Amostras	Resíduos Sólidos		Compostos	
	C.org./N.org. extracto aquoso	C/N amostra seca	C.org./N.org. extracto aquoso	C/N amostra seca
lamas de E.T.A.R.	5.56	8.74	6.01	11.2
lamas de E.T.A.R. + + serradura	7.19	21.5	4.34	17.9
lamas de E.T.A.R. + + casca de arroz	6.05	14.9	5.50	14.2
resíduos de cozinha + + cascas de árvores	29.5	21.6	6.36	16.1
resíduos de cozinha	13.9	16.0	5.72	15.8
resíduos sólidos urbanos	26.2	20.7	6.85	14.9
estrume de vaca	12.0	22.0	5.16	11.3
estrume de vaca e de porco e palha	--	--	6.15	12.7
excrementos de galinha	8.64	5.26	5.68	8.21
cascas de árvores + + estrume de vaca	26.5*	101.7*	6.30	29.0
folhas	2.95	33.4	5.00	12.1

* os valores referem-se só a cascas de árvores

Estes autores observaram que esta relação varia entre 5 e 6, nos casos de compostos bem maduros, independentemente da natureza dos materiais que lhe deram origem. A relação C/N, determinada deste modo, pode ser um indicador da estabilidade do composto, com alguma reserva no caso da compostagem de lamas de estações de tratamento de águas residuais.

6. OBJECTIVO DO TRABALHO

Nos últimos anos , tem-se verificado uma modificação da composição qualitativa dos resíduos sólidos urbanos, devido ao aumento das fontes de Carbono (papéis, jornais, cartões) em relação às fontes de Azoto (resíduos de leguminosas e de frutos) (AGHTM,1985). O aumento relativo regista-se, pelo menos de uma forma tendencial, mesmo quando se utilizam métodos sofisticados de recuperação daquelas fontes, podendo implicar um empobrecimento do composto produzido e o prolongamento do tempo necessário à estabilização do composto (KEHREN, com. pes.).

Na ausência de dados relativos a Portugal, apresenta-se na Figura 6 a evolução da composição qualitativa dos resíduos sólidos urbanos de Paris, de 1946 a 1980 (AGHTM, 1985).

O presente trabalho tem por objectivo fundamental o estudo da influência da relação Carbono/Azoto dos resíduos sólidos urbanos no processo de compostagem lenta.

Por via experimental, estuda-se em que medida

o aumento da relação C/N

a estabilização da relação C/N

a diminuição da relação C/N

comprometem a velocidade de fermentação e afectam a qualidade do composto produzido.

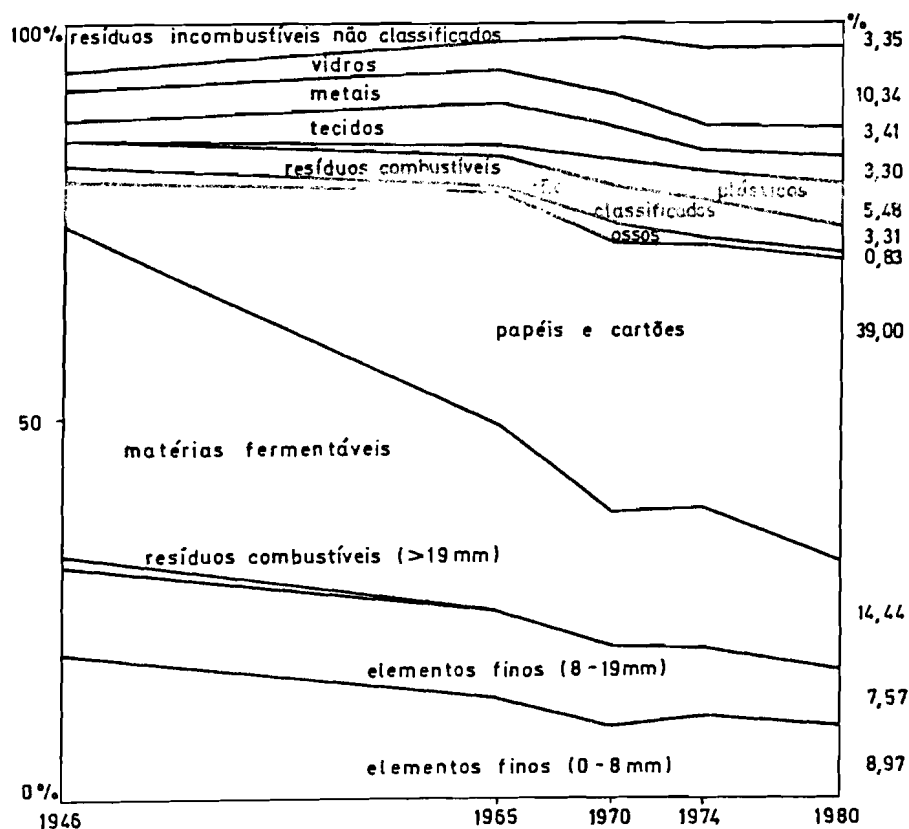


Figura 6 - Evolução da composição qualitativa dos resíduos sólidos urbanos de Paris, de 1946 a 1980

Pretendeu-se, também , reunir elementos que permitam estabelecer preceitos para a normalização do composto, de modo a facilitar e otimizar a sua gestão.

Outra das preocupações subjacentes a este trabalho, diz respeito à problemática global da reciclagem de resíduos em Portugal, atendendo , por isso , necessariamente, à recuperação/valorização de materiais não compostáveis e à valorização do composto, enquanto correctivo/ /fertilizante, nas várias zonas ecológicas do País, para as diferentes formas de exploração da terra e para as diferentes culturas nela

produzidas.

A Engenharia Sanitária, em cujo domínio este trabalho se inclui, tem necessariamente, de se integrar na problemática geral da Engenharia do Ambiente e, dentro desta, na utilização dos recursos naturais do País. Daí que não seja apenas o composto, em si mesmo, o objectivo do trabalho, mas que se tenha procurado atender aos processos, a montante, que o geraram e aos processos, a jusante, que o podem (devem) reutilizar e valorizar.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. Condições prévias

Para a satisfação dos objectivos a que se propôs o presente trabalho tornava-se necessário suplementar os resíduos sólidos brutos, para o que se utilizou papel e ureia, fontes de Carbono e Azoto que, normalmente, fazem parte dos resíduos sólidos.

Escolheu-se um tipo de papel com elevado poder de absorção, em que algumas características físico-químicas relevantes foram determinadas analiticamente. O mesmo aconteceu com a ureia utilizada, em que se recorreu ao fertilizante agrícola usual.

A amostra de resíduos sólidos foi recolhida na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos de Lisboa, após trituração e crivagem, de modo a minimizar a influência da dimensão dos materiais no processo de compostagem.

Em Lisboa, grande parte da recolha de resíduos sólidos é nocturna e realiza-se seis vezes por semana (excepto segunda-feira). Deste modo, para que os resíduos recolhidos correspondessem, na medida do possível, aos produzidos nesse dia, escolheu-se uma sexta-feira para a efectivação da colheita (AGHTM, 1977). Pretendeu-se, assim, reduzir o período de

fermentação antes do controlo.

7.2. Instalação piloto de compostagem

A Figura 7 mostra um aspecto global da instalação piloto de compostagem, onde se vê, do lado esquerdo, o triturador de martelos que se refere no texto.

A instalação piloto de compostagem é constituída por quatro células de fermentação, situadas numa área cimentada, ao abrigo da chuva e do sol, no *campus* da Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Cada célula de fermentação é composta por uma gaiola de rede metálica, (malha 2 por 2 cm) de 1.5 m³ de capacidade, aberta na parte superior, por onde são feitos o enchimento e o esvaziamento, após se ter inclinado a célula, mediante a utilização de guincho.

A instalação compreende, ainda, uma báscula para pesagem das células e um sistema de medição e registo de temperaturas.

7.3. Colheita dos resíduos

A colheita de resíduos sólidos iniciou-se à uma hora do dia 1986/07/11, sexta-feira. Recolheram-se, aproximadamente, 2,5 toneladas de resíduos, em cinco das portas da fossa de recepção da Estação de Tratamento de

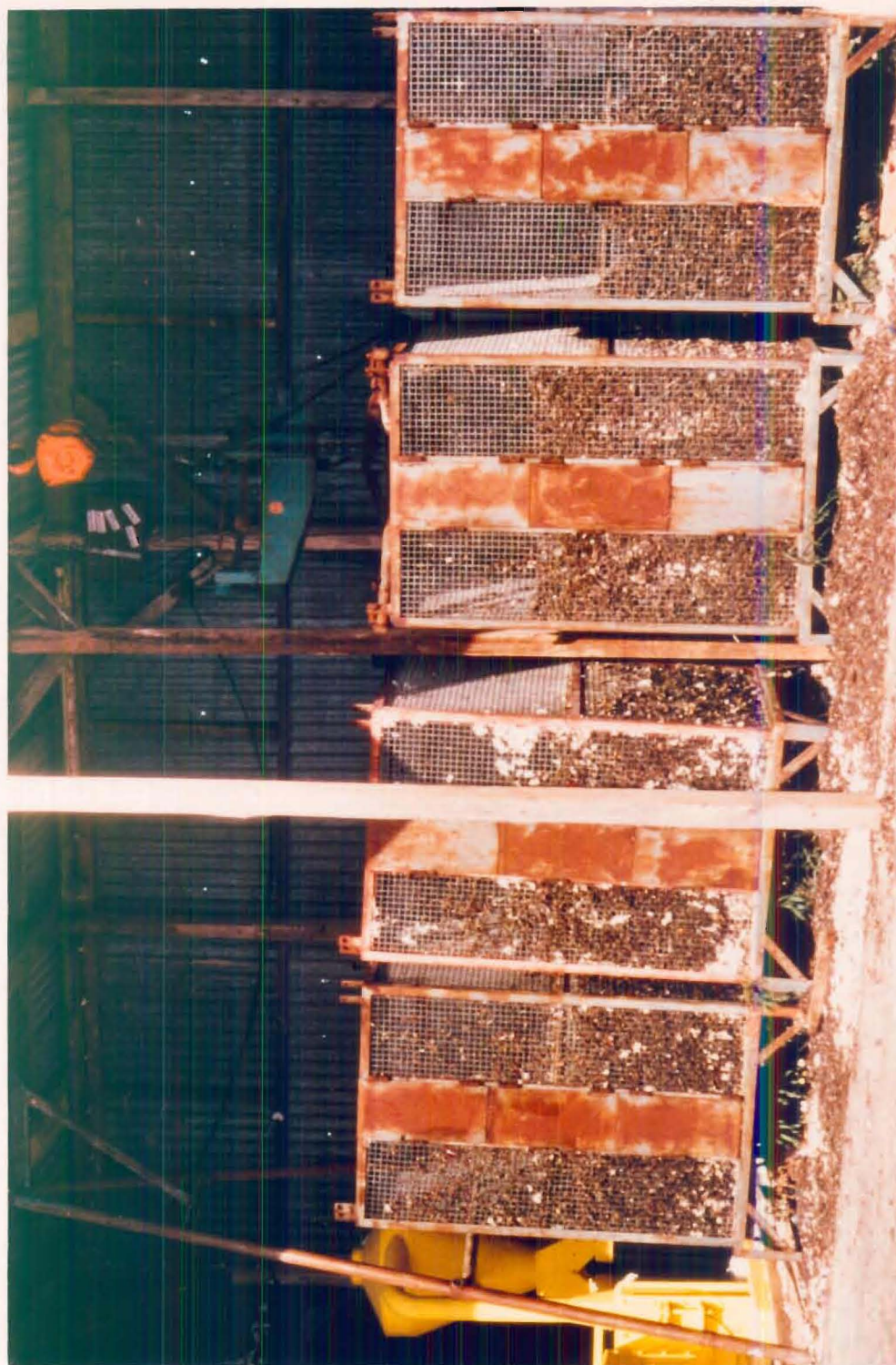


FIGURA 7 – INSTALAÇÃO PILOTO DE COMPOSTAGEM

Resíduos Sólidos, em cada hora, durante aproximadamente seis horas. Estes resíduos (cerca de 75 toneladas) foram arrumados num dos extremos da fossa e processados a partir das 13 horas, de acordo com o seguinte diagrama:



Colheram-se cerca de 1100 Kg de resíduos, cada cinco minutos, durante duas horas. No final, os resíduos foram misturados, por uma escavadora.

De diferentes pontos da pilha formada, tiraram-se amostras, de dimensão semelhante, que totalizaram cerca de duas toneladas, as quais foram transportadas para a Faculdade de Ciências e Tecnologia.

7.4. Constituição das amostras

Ainda na sexta-feira , 11 de Julho de 1986, as duas toneladas de resíduos foram divididas em quatro partes de peso idêntico. Procedeu-se, então, ao enchimento das células, de acordo com o seguinte esquema :

célula 1 - Resíduos sólidos (testemunha);

célula 2 - Resíduos sólidos misturados com 50 Kg de papel absorvente, previamente triturado e humedecido;

célula 3 - Resíduos sólidos misturados com 20 Kg de papel absorvente, previamente triturado e humedecido e com 1 Kg de ureia, previamente humedecida;

célula 4 - Resíduos sólidos misturados com 10 Kg de ureia, previamente humedecida.

O humedecimento prévio do papel e da ureia teve em vista evitar-se a diminuição do teor em água dos resíduos sólidos. Registou-se uma certa dificuldade na mistura homogénea dos resíduos com o papel humedecido, porque este formou bolas, que só ao longo do ensaio, nas manipulações durante o revolvimento das pilhas, foi possível destruir.

7.5. Controlo do processo de compostagem

7.5.1 – Medição das temperaturas

Em cada célula, próximo do centro da pilha de resíduos, foi colocado um termopar. Um outro termopar foi colocado acima das células, a fim de medir a temperatura do ar.

A medição e registo horário das temperaturas, efectuou-se durante quatro meses, a contar do início do ensaio.

7.5.2. Revolvimento dos resíduos

As células foram esvaziadas e os resíduos revolvidos, com a utilização de pás, uma vez por semana, durante um mês, nos dias 17, 24 e 31 de Julho e 8 de Agosto de 1986 (6°, 13°, 20° e 28° dias do ensaio). Igual procedimento foi efectuado 231 dias após o início do ensaio, em 27 de Fevereiro de 1987.

7.5.3. Adição de água

Adicionou-se água aos resíduos, após o revolvimento e a colheita de amostra.

7.5.4. Pesagem das células

As células foram pesadas antes e depois do revolvimento dos resíduos.

7.6. Amostragem para análise

No início do ensaio e após o revolvimento das pilhas, recolheu-se uma amostra de cada uma delas, com cerca de 5% do respectivo peso, para efectuar as seguintes determinações:

- humidade (1 Kg, aproximadamente)
- inertes (3 Kg, aproximadamente)

O restante de cada amostra foi triturado, usando um triturador de martelos (Figura 7) e passado através de um amostrador do tipo do apresentado na Figura 8. Este amostrador é utilizado no CEMAGREF, devido ao facto de aí terem sido obtidos resultados de análise discordantes, pelo método dos quartos. Com este amostrador obtem-se um desvio padrão menor que 1,5%, entre duas análises em composto fresco ou maduro (CEMAGREF-ANRED, 1982).

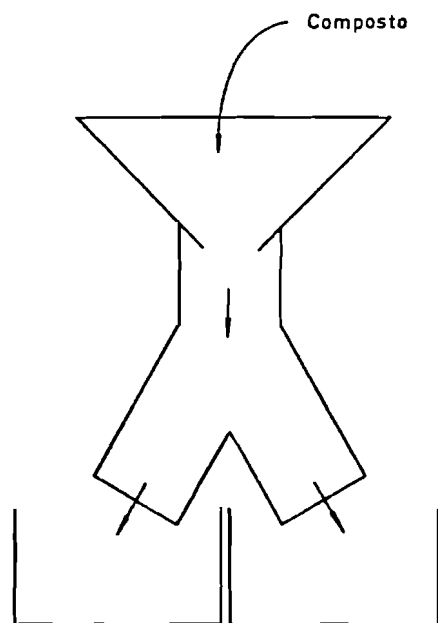


Figura 8 - Esquema do amostrador

Foi seleccionada uma amostra entre 5-10 Kg e seca na estufa a 80°C. Após mistura, retirou-se uma sub-amostra, com cerca de 1 Kg, para trituração fina. Esta trituração foi realizada no Instituto Superior de Agronomia, num triturador ultra-centrífugo, com crivo de malha de 1 mm, funcionando a 10000 rotações/minuto.

Para diminuir o risco de danificar o triturador, foram retiradas as pedras e os metais maiores, antes da trituração. Esses componentes foram pesados e fez-se a correcção dos resultados das análises para a totalidade da amostra. Após trituração, retirou-se uma amostra mais pequena, que foi seca a 105°C e nesse material efectuaram-se as determinações de pH, perda por calcinação, Carbono orgânico e Azoto orgânico.

O procedimento descrito para a colheita de amostras para análise é sumariado na Figura 9 .

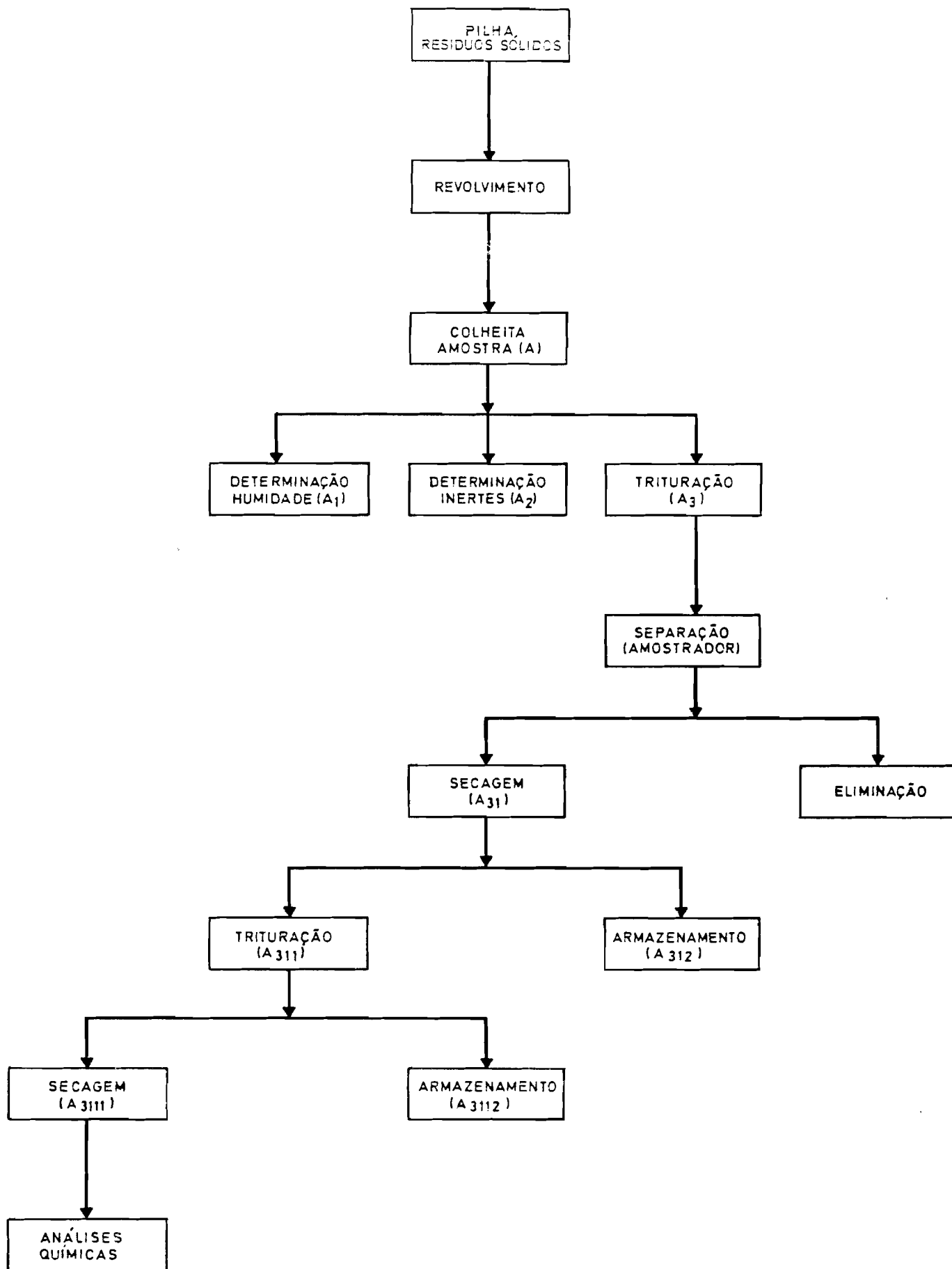


Figura 9 - Diagrama do procedimento para a colheita de amostras. Os índices associados a (A) representam sub-amostras da amostra A.

7.7. Métodos de análise

Humidade - diferença de peso após secagem na estufa a 103-105°C, até peso constante.

Inertes (CEMAGREF-ANRED, 1982) - ataque da amostra com água de javel (Hipoclorito de Sódio). Separação densimétrica em água e Cloreto de Cálcio, após lavagem da amostra com água. Secagem dos inertes na estufa a 75°C, até peso constante.

Separação granulométrica das diversas fracções de inertes. O procedimento prático apresenta-se no ANEXO 1.

pH - método potenciométrico, usando uma suspensão da amostra em água destilada a pH > 5,6 na proporção de 550 ml, após duas horas de agitação a 7000 - 8000 rotação/hora.

Perda por calcinação - Diferença de peso, após calcinação da amostra na mufla a 550°C, durante 2 horas.

Carbono orgânico (ANNE, 1945) - Oxidação da amostra com Dicromato de Potássio, em meio sulfúrico, a quente, durante cinco minutos. Titulação do excesso de dicromato com Sal de Mohr, na presença de um indicador (Difenilamina). O procedimento prático apresenta-se no ANEXO 2.

Carbono orgânico (ROLLE e ORSANIC, 1964) - Oxidação da amostra com Dicromato de Potássio, em meio sulfúrico, a frio , durante uma hora. Titulação do excesso de dicromato com Sal de Mohr, na presença de um indicador (Difenilamina). O procedimento prático apresenta-se no ANEXO 3.

Azoto orgânico (KJELDAHL) - Transformação do Azoto em sal de amónio, por digestão da amostra com Acido Sulfúrico concentrado, em presença de mistura catalítica. Tratamento com uma solução de Hidróxido de Sódio e arrastamento, pelo vapor de água, do Amoníaco libertado ,que é recebido na solução indicadora de Ácido Bórico. Titulação com Ácido Sulfúrico.

Segundo HORELLOU (1982-83) e WARTAK (1983), deste modo determina-se apenas o Azoto orgânico, uma vez que o Azoto amoniacal seria eliminado, através do processo de secagem utilizado.

Aliás, como é reconhecido pelo Organismo de Normalização , o método KJELDAHL não determina necessariamente todos os compostos orgânicos de Azoto (NP-2201).

Celulose bruta - Tratamento do produto a analisar com uma mistura Ácido Nítrico - Ácido Acético, em ebulição, durante 25 minutos. Filtração através de cadinho de GOOSH (G3), previamente tarado. Lavagem sucessiva com água quente, até reacção neutra do filtrado. A celulose bruta obtem-se por diferença de peso após secagem do cadinho na estufa a 105°C , até peso constante. O procedimento prático apresenta-se no ANEXO 4.

8. RESULTADOS

8.1. Apresentação

No Quadro 11 apresenta-se a caracterização da amostra de resíduos sólidos utilizada no ensaio de compostagem.

No Quadro 12 resumem-se os resultados referentes à caracterização físico-química do papel e ureia adicionados aos resíduos sólidos. Não foi possível a determinação da perda por calcinação da ureia, devido à volatilização do Azoto amoniacal quando se eleva a temperatura, provocando cheiro insuportável. O teor em Azoto orgânico, obtido pelo método KJELDAHL, está próximo do valor teórico (46.65%). As análises do Carbono orgânico, pelo método de ANNE e pelo método de ROLLE e ORSANIC, conduziram a resultados nulos, apesar de se calcular que exista 20% de Carbono na ureia.

O registo das temperaturas horárias do ar e dos resíduos sólidos foi mantido durante quatro meses. Aproximadamente ao fim de dois meses do decurso do ensaio, a temperatura dos resíduos atingiu valores próximos da temperatura ambiente. Nos Quadros 13 e 14 apresentam-se as temperaturas horárias registadas nos dois primeiros dias do ensaio e as temperaturas médias diárias, calculadas durante 57 dias.

Quadro 11 - Caracterização da amostra de resíduos sólidos utilizada no ensaio de compostagem

Humidade (%)	51.4
pH	6.25
Perda por calcinação (% peso seco)	52.60
Inertes (% peso seco)	39.50
Carbono orgânico (método de ANNE) (% peso seco)	26.30
Carbono orgânico (método de ROLLE e ORSANIC) (% peso seco)	21.53
Azoto orgânico (% peso seco)	1.31
Relação C/N	20.1

Quadro 12 - Caracterização físico-química do papel e da ureia adicionados aos resíduos sólidos

Parâmetros	Papel	Ureia
Humidade (%)	5.82	0.215
Perda por calcinação(% peso seco)	97.62	---
Carbono orgânico (método de ANNE) (% peso seco)	54.81	0
Carbono orgânico(método de ROLLE e ORSANIC) (% peso seco)	49.03	0
Azoto orgânico (% peso seco)	0.025	47.25
Relação C/N	2192.4	0
Celulose bruta(% peso seco)	81.2	--

Quadro 13 - Temperatura do ar e dos resíduos sólidos nos dois primeiros dias do processo de compostagem

TEMPO (horas)	CELULA 1 (°C)	CELULA 2 (°C)	CELULA 3 (°C)	CELULA 4 (°C)	Ar (°C)
0	37.4	27.9	27.0	27.1	18.0
1	37.8	28.4	27.1	27.1	17.2
2	38.3	29.3	27.6	27.9	17.0
3	39.1	30.3	28.1	28.7	17.0
4	39.6	31.5	28.4	29.3	16.7
5	39.9	32.1	28.7	30.1	16.3
6	40.1	32.6	28.8	30.4	16.2
7	40.8	33.6	29.2	31.1	20.3
8	41.6	34.9	29.7	31.9	20.4
9	42.3	36.6	30.3	32.9	24.7
10	42.9	38.2	30.9	33.9	24.7
11	43.3	39.4	31.4	34.5	23.8
12	43.8	40.7	32.0	35.5	26.8
13	44.3	41.6	32.6	36.5	26.0
14	44.8	42.5	33.1	37.5	26.2
15	45.2	43.4	33.7	38.6	27.1
16	45.6	44.0	34.2	39.4	26.0
17	46.3	44.7	35.0	40.2	25.1
18	47.2	45.2	35.9	40.9	23.8
19	47.5	46.0	36.5	41.8	21.6
20	48.8	46.8	37.4	42.3	19.9
21	50.8	49.7	40.1	44.9	21.5
22	50.7	49.3	40.7	44.9	21.9
23	50.9	48.8	40.9	45.1	21.3
24	49.1	47.1	40.0	44.3	19.4
25	48.0	46.0	39.3	44.1	17.9
26	47.6	45.6	39.5	44.1	17.3
27	47.9	46.2	40.3	44.7	17.3
28	48.1	46.5	40.8	45.1	17.4
29	48.5	46.2	41.2	44.9	16.8
30	48.1	46.5	41.6	45.0	21.3
31	48.4	47.1	42.2	45.4	31.8
32	48.7	47.7	42.8	45.6	25.3
33	50.8	49.1	45.0	46.1	30.1
34	48.8	48.3	43.9	45.9	29.4
35	49.2	48.9	44.5	46.2	32.1
36	49.3	49.5	45.0	46.5	33.4
37	49.3	50.2	45.5	46.7	35.3
38	49.5	51.0	45.9	47.0	35.9
39	49.7	51.5	46.4	47.2	34.8
40	49.9	52.2	46.9	47.6	32.4
41	50.4	52.9	47.3	47.8	31.2
42	51.0	53.6	47.9	48.1	30.6
43	51.3	54.8	48.8	48.5	28.5
44	51.9	55.9	49.6	49.3	27.0
45	53.3	57.3	51.1	50.3	28.7
46	51.9	58.3	51.0	50.5	27.3
47	51.9	55.8	50.0	49.4	26.6

Quadro 14 - Temperatura média diária do ar e dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem

TEMPO (dias)	CELULA 1 (°C)	CELULA 2 (°C)	CELULA 3 (°C)	CELULA 4 (°C)	Ar (°C)
1	43.7	39.1	32.5	35.5	21.7
2	49.7	50.3	44.9	46.7	27.0
3	52.3	58.6	53.3	51.2	28.9
4	55.0	64.9	58.5	55.9	28.8
5	58.4	68.2	62.3	59.4	29.2
6*	59.8	67.3	63.7	59.5	28.6
6 Δ	44.5	41.8	46.3	44.8	28.6
7	50.9	52.7	52.7	62.6	29.4
8	56.7	61.4	63.9	62.1	30.8
9	62.1	66.6	66.5	62.3	28.2
10	64.2	67.8	68.2	61.5	25.4
11	63.1	66.4	66.8	57.0	21.4
12	63.2	66.6	67.9	56.5	22.4
13*	62.0	66.1	67.2	60.4	21.6
13 Δ	42.1	42.4	40.2	40.1	21.6
14	60.5	65.1	66.6	61.3	21.9
15	66.0	72.1	68.1	66.5	23.1
16	67.6	72.7	65.9	67.5	25.5
17	64.6	69.8	61.6	65.9	25.6
18	62.3	68.8	60.5	64.3	26.9
19	61.8	67.8	60.5	63.8	23.3
20*	60.4	64.5	60.4	61.2	24.2
20 Δ	57.0	57.0	54.8	57.4	24.2
21	72.8	66.7	64.5	57.7	23.5
22	70.2	61.5	63.2	51.7	25.0
23	66.9	58.0	56.1	46.4	21.6
24	58.6	51.1	53.3	38.6	20.5
25	50.1	52.3	55.6	34.2	22.1
26	48.4	51.9	50.5	34.2	23.9
27	50.8	52.0	51.0	37.3	23.8
28*	54.5	51.5	51.2	39.3	23.3
28 Δ	54.0	45.7	41.5	37.1	23.3
29	62.4	65.2	52.4	47.3	22.6
30	51.9	63.4	50.2	45.8	23.2
31	46.9	58.2	44.7	43.7	22.3
32	41.7	54.2	37.9	44.4	22.1
33	37.9	54.3	34.6	48.5	24.1
34	36.7	53.3	34.6	49.7	24.9
35	35.3	49.1	33.6	49.5	24.4
36	33.1	44.3	31.4	49.5	21.9
37	30.6	40.8	28.4	51.7	21.5
40	28.3	28.6	28.6	53.1	23.1
43	31.6	27.6	29.3	54.4	22.4
49	29.3	31.1	26.9	27.3	24.1
52	26.4	28.2	24.9	24.5	22.5
54	25.5	26.8	24.5	24.2	22.5
57	24.8	24.5	23.4	24.7	22.2

* Corresponde à temperatura média dos resíduos sólidos antes do revolvimento

Δ Corresponde à temperatura média dos resíduos sólidos depois do revolvimento

Os quadros 15 , 16 e 17 referem-se aos resultados das manipulações efectuadas durante os revolvimentos dos resíduos sólidos : pesagem das células, pesagem das amostras recolhidas e adição de água.

Os resultados da determinação de pH, humidade, inertes, perda por calcinação e Carbono orgânico, utilizando o método de ANNE e o método de ROLLE e ORSANIC, e Azoto orgânico são apresentados nos Quadros 18 a 24 e no ANEXO 5.

O Quadro 25 permite efectuar a correcção dos resultados das determinações da perda por calcinação , do Carbono orgânico e do Azoto orgânico realizadas na amostra triturada, reportando-as à amostra original.

8.2 – Exploração dos resultados

8.2.1 – Parâmetros físico-químicos

8.2.1.1- Temperatura

Nas Figuras 10 a 13 graficam-se os resultados da temperatura média diária dos resíduos sólidos apresentados no Quadro 14.

Da análise desses gráficos sobressai a diminuição da temperatura, nos momentos em que se procedeu ao revolvimento das pilhas. No Quadro 26, apresentam-se os valores correspondentes à envolvente de temperaturas

Quadro 15 - Peso húmido dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem expresso em quilogramas (a)

Tempo (dias)		Celula 1	Celula 2	Celula 3	Célula 4
0	(b)	530	530	530	515
	(c)	500	580	522	493
6	(d)	381	454	414	388
	(e)	394	530	448	389
13	(d)	285	387	322	308
	(e)	299	382	335	325
20	(d)	236	290	256	281
	(e)	229	282	243	265
28	(d)	183	210	180	239
	(e)	165	214	172	222
231	(d)	125	137	125	130

(a) Os dados referem-se ao peso dos resíduos sólidos tendo sido subtraído anteriormente o peso das células

(b) Peso dos resíduos sólidos antes da adição de papel e/ou ureia

(c) Peso dos resíduos sólidos depois da mistura com o papel e/ou ureia previamente humedecidos e da recolha da amostra

(d) Peso dos resíduos sólidos antes do revolvimento

(e) Peso dos resíduos sólidos após o revolvimento, a recolha de amostra e adição de água

Quadro 16 - Peso húmido da amostra total recolhida e das amostras utilizadas na determinação de humidade e inertes e em análises químicas

TEMPO (dias)	CELULA 1				CELULA 2			
	Amostra Total recolhida (Kg)	Amostras			Amostra Total recolhida (Kg)	Amostras		
		Humidade (g)	Inertes (g)	Anál.químicas (Kg)		Humidade (g)	Inertes (g)	Anál.químicas (Kg)
0	30.7	560.5 545.8	1845.3 --	10.2	33.0	551.9 502.4	1808.2 --	4.2
6	23.8	789.3 626.5	1993.3 --	5.6	20.3	525.3 542.3	2654.1 --	5.2
13	22.3	622.7 649.2	1737.6 --	6.1	26.0	626.6 583.3	1739.1 1751.4	7.1
20	15.2	689.0 696.7	1847.3 --	6.1	20.7	597.3 576.4	1347.3 --	5.2
28	18.2	451.4 589.0	1860.9 1444.3	7.0	15.7	501.0 487.2	1461.0 1708.5	5.1
231	8.8	383.2	--	3.5	10.3	484.7	--	5.4

Quadro 16 - Peso húmido da amostra total recolhida e das amostras utilizadas na determinação de humidade e inertes e em análises químicas (continuação)

TEMPO (dias)	CELULA 3				CELULA 4			
	Amostra Total recolhida (Kg)	Amostras			Amostra Total recolhida (Kg)	Amostras		
		Humidade (g)	Inertes (g)	Anál.químicas (Kg)		Humidade (g)	Inertes (g)	Anál.químicas (Kg)
0	34.3	564.0 490.0	2058.4 --	8.4	33.8	494.4 580.0	1972.5 --	11.3
6	22.8	509.8 644.6	931.8 --	3.5	20.4	751.3 837.7	2264.5 --	10.4
13	21.4	542.5 625.1	1715.2 --	5.2	20.6	723.9 736.3	1771.1 1784.9	8.6
20	19.8	695.3 633.3	1818.0 --	7.4	20.7	432.6 577.3	1905.5 --	7.4
28	16.4	630.5 579.4	1356.7 --	7.5	17.0	548.3 676.7	1693.7 --	6.9
231	7.3	455.5	--	3.6	8.6	455.1	--	3.3

Quadro 17 - Volume de água adicionado aos resíduos sólidos durante o processo de compostagem, expresso em litros (a)

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	--	(a)	(a)	(a)
6	54	144	66	36
13	40	66	72	64
20	20	23	18	20
28	--	20	8	--
231	--	--	--	--

(a) Nestes casos, a água foi adicionada ao papel e à ureia antes destes terem sido misturados com os resíduos sólidos

Quadro 18 - Determinação do pH

Célula	Tempo (dias)					
	0	6	13	20	28	231
1	6.25	6.83	7.52	7.85	7.75	8.03
2	6.26	6.95	7.58	7.54	7.64	8.01
3	6.31	7.09	7.40	7.73	7.98	7.89
4	6.76	6.69	7.31	7.66	7.63	7.64

Quadro 19 – Determinação da humidade. Resultados expressos em percentagem

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	50.7	50.6	52.7	52.0
	52.1	52.6	54.8	52.2
6	44.2	44.4	47.0	41.1
	45.1	42.9	44.8	41.6
13	40.0	46.0	40.2	38.0
	40.7	45.4	41.9	37.4
20	34.2	41.3	37.8	40.1
	33.9	41.6	38.4	39.4
28	25.3	26.8	25.7	35.1
	25.6	26.3	26.5	33.2
231	10.7	11.8	10.8	9.0

Quadro 20 – Determinação dos inertes, destacando-se os plásticos maiores que 2 mm.
Resultados expressos em percentagem do peso seco da amostra

Tempo (dias)	Celula 1		Celula 2		Celula 3		Celula 4	
	Inertes totais	Plásticos	Inertes totais	Plásticos	Inertes totais	Plásticos	Inertes totais	Plásticos
0	39.50	1.22	31.50	0.60	34.42	0.73	37.20	0.98
6	45.21	0.63	37.33	0.70	36.12	1.46	38.73	0.90
13	46.94	1.04	42.94 43.50	0.56 1.02	43.41	0.84	42.82 38.44	1.55 1.11
20	48.73	1.05	52.02	1.10	51.12	1.63	50.03	0.99
28	55.42 60.41	0.62 0.85	57.03 57.02	0.81 0.62	57.71	0.80	50.43	0.71

Quadro 21 - Determinação da perda por calcinação. Resultados expressos em percentagem do peso seco da amostra

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	56.23	68.00	66.15	57.30
	56.23	68.32	67.83	--
6	50.90	61.73	65.69	53.07
	52.20	61.35	--	--
13	44.93	48.33	51.84	48.86
	44.24	--	--	--
20	40.44	45.72	40.95	43.02
	--	--	--	--
28	35.23	32.99	34.59	43.96
	35.94	--	--	--
231	32.54	31.04	31.36	36.23
	33.07	30.52	30.31	--

Quadro 22 - Determinação do Carbono orgânico (método de ANNE)
Resultados expressos em percentagem do peso seco da amostra

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	28.80	28.37	15.51	30.03
	27.42	--	20.06	30.69
6	33.45	29.57	30.44	20.56
	31.00	35.50	25.30	21.43
13	21.31	30.65	29.22	24.32
	19.93	28.82	30.65	26.49
20	17.35	25.89	22.52	26.28
	20.38	27.64	--	24.87
28	17.99	21.21	21.45	28.16
	23.66	18.77	18.34	22.78
231	12.87	14.33	13.85	21.01
	15.90	14.34	14.50	19.39

Quadro 23 - Determinação do Carbono orgânico (método de ROLLE e ORSANIC). Resultados expressos em percentagem do peso seco da amostra

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	22.95	26.11	28.08	21.11
	23.09	27.28	31.13	24.80
6	28.48	25.02	21.97	23.44
	26.81	23.53	27.34	27.83
13	21.93	25.00	20.07	23.38
	21.80	22.74	22.57	22.85
20	16.51	23.82	17.30	21.76
	14.61	22.73	18.95	--
28	19.19	20.25	11.10	21.15
	23.22	17.86	9.52	24.80
231	12.41	10.43	12.05	9.44
	--	15.59	12.62	10.69

Quadro 24 - Determinação do Azoto orgânico. Resultados expressos em percentagem de peso seco da amostra

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	1.415			
	1.387	1.221	1.562	2.533
	1.395	1.227	1.516	2.644
6	1.318	1.270	1.344	2.460
	1.441	--	--	--
13	1.174	1.111	1.147	2.238
	1.217	1.114	1.173	2.278
20	1.430	1.378	1.476	1.276
28	1.269	1.163	1.213	1.399
	1.219	1.101	1.210	1.260
231	1.293	1.419	1.356	1.170
	--		--	--

Quadro 25 - Amostra total e amostra triturada para análises químicas após se ter retirado pedras e metais. Resultados expressos em gramas

TEMPO (dias)	CELULA 1		CELULA 2		CELULA 3		CELULA 4	
	Amostra Total	Amostra triturada	Amostra total	Amostra triturada	Amostra total	Amostra triturada	Amostra total	Amostra triturada
0	570.3	533.5	447.2	424.1	550.3	513.0	958.7	825.6
6	535.7	500.2	471.5	440.4	395.1	361.0	665.4	596.1
13	572.2	548.4	626.9	573.8	470.0	442.0	606.5	551.2
20	895.4	818.8	620.8	591.0	1066.3	1015.4	845.0	815.0
28	1003.8	935.6	804.7	752.6	1013.6	926.3	496.1	457.7
231	--	--	--	--	--	--	--	--

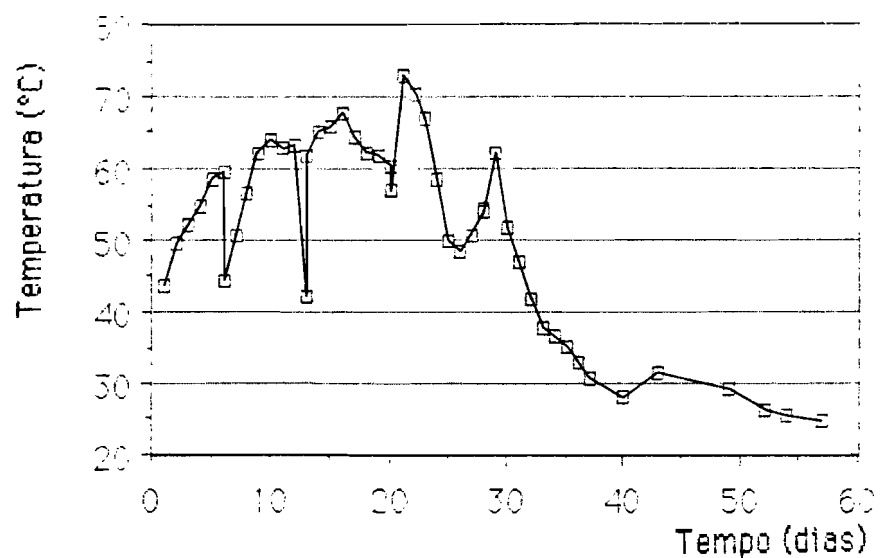


Figura 10 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 1.

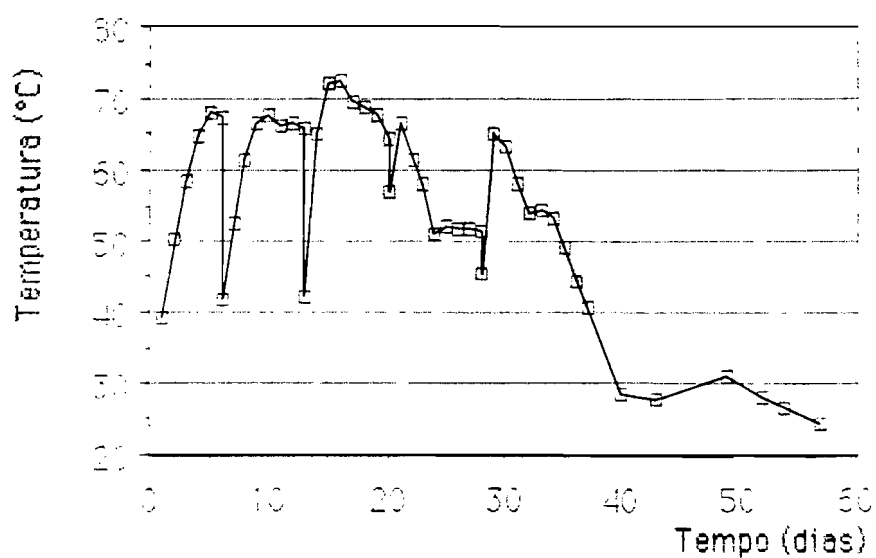


Figura 11 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 2.

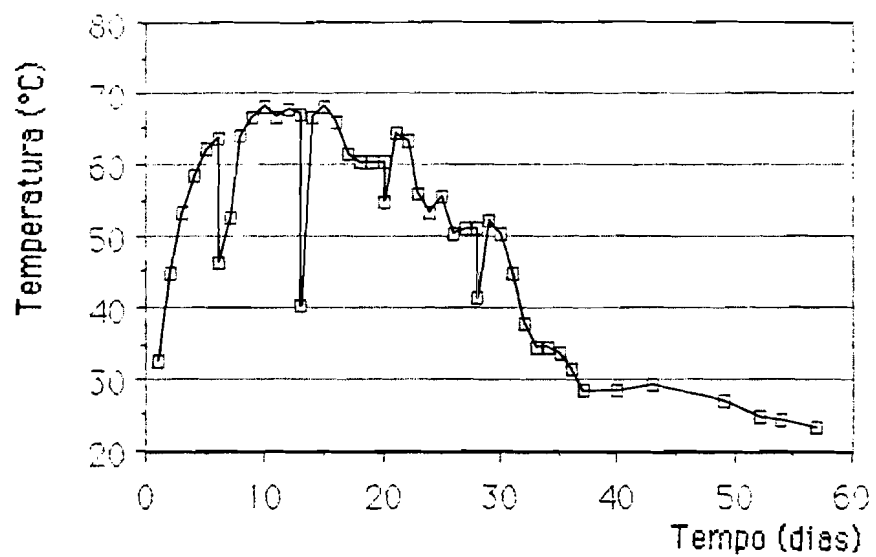


Figura 12 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 3.

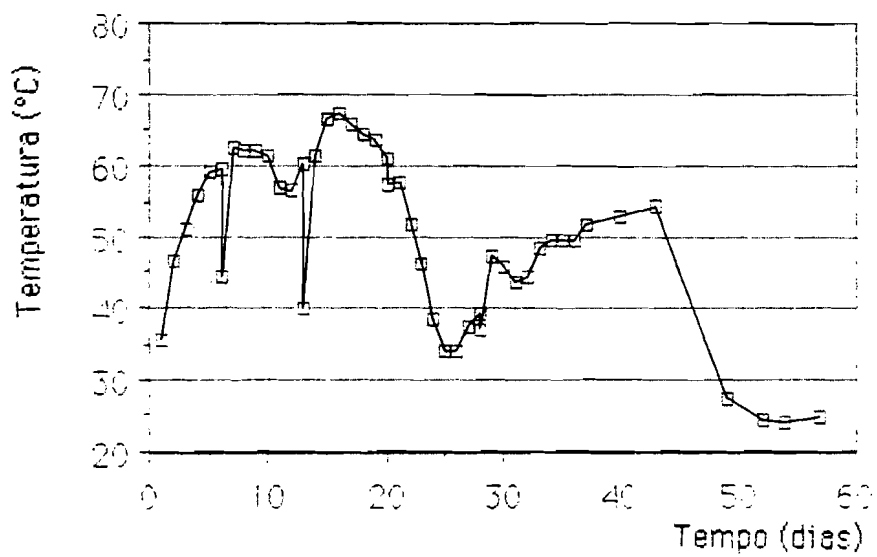


Figura 13 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 4.

Quadro 26 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos não considerando o efeito do revolvimento

TEMPO (dias)	CELULA 1 (°C)	CELULA 2 (°C)	CELULA 3 (°C)	CELULA 4 (°C)
1	43.7	39.1	32.5	35.5
2	49.7	50.3	44.9	46.7
3	52.3	58.6	53.3	51.2
4	55.0	64.9	58.5	55.9
5	58.4	68.2	62.3	59.4
6*	59.8	67.3	63.7	59.5
6 Δ	--	--	--	--
7	--	--	--	62.6
8	--	--	63.9	62.1
9	62.1	--	66.5	62.3
10	64.2	67.8	68.2	61.5
11	63.1	66.4	66.8	57.0
12	63.2	66.6	67.9	56.5
13*	62.0	66.1	67.2	60.4
13 Δ	--	--	--	--
14	--	--	--	61.3
15	66.0	72.1	68.1	66.5
16	67.6	72.7	65.9	67.5
17	64.6	69.8	61.6	65.9
18	62.3	68.8	60.5	64.3
19	61.8	67.8	60.5	63.8
20*	60.4	64.5	60.4	61.2
20 Δ	--	--	--	--
21	72.8	66.7	64.5	57.7
22	70.2	61.5	63.2	51.7
23	66.9	58.0	56.1	46.4
24	58.6	51.1	53.3	38.6
25	50.1	52.3	55.6	34.2
26	48.4	51.9	50.5	34.2
27	50.8	52.0	51.0	37.3
28*	54.5	51.5	51.2	39.3
28 Δ	--	--	--	--
29	62.4	65.2	52.4	47.3
30	51.9	63.4	50.2	45.8
31	46.9	58.2	44.7	43.7
32	41.7	54.2	37.9	44.4
33	37.9	54.3	34.6	48.5
34	36.7	53.3	34.6	49.7
35	35.3	49.1	33.6	49.5
36	33.1	44.3	31.4	49.5
37	30.6	40.8	28.4	51.7
40	28.3	28.6	28.6	53.1
43	31.6	27.6	29.3	54.4
49	29.3	31.1	26.9	27.3
52	26.4	28.2	24.9	24.5
54	25.5	26.8	24.5	24.2
57	24.8	24.5	23.4	24.7

* Corresponde à temperatura média dos resíduos sólidos antes do revolvimento

Δ Corresponde à temperatura média dos resíduos sólidos depois do revolvimento

de cada célula, os quais se representaram nas Figuras 14 a 17.

Nas Figuras 18 e 19 sobrepueram-se as temperaturas horárias e as médias diárias das 4 pilhas de resíduos e do ar apresentadas nos Quadros 13 e 26.

A taxa de aumento da temperatura, no período de zero a seis dias, variou, consoante a célula em consideração (Figura 19). Esta taxa pode ser determinada através da regressão linear dos valores da temperatura em função do tempo neste período.

O Quadro 27 resume os aspectos mais relevantes referentes à evolução da temperatura nas quatro células, durante a compostagem.

8.2.1.2. pH

Os valores de pH medidos nas diversas células no intervalo de tempo 0 - 28 dias (Quadro 18) estão representados conjuntamente na Figura 20.

8.2.1.3. Humidade

Os valores de humidade determinados nas diversas células no intervalo de tempo 0 - 28 dias (Quadro 19) estão representados conjuntamente na Figura 21.

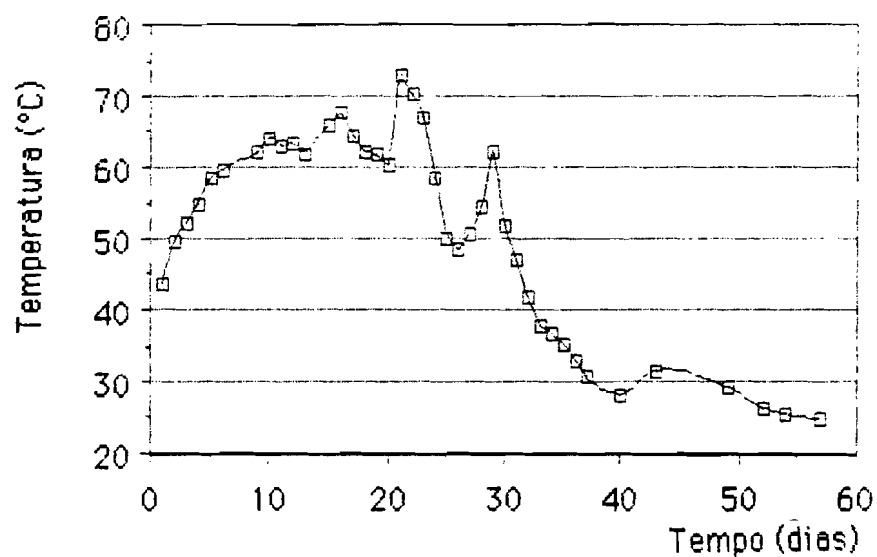


Figura 14 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 1 não considerando o efeito do revolvimento.

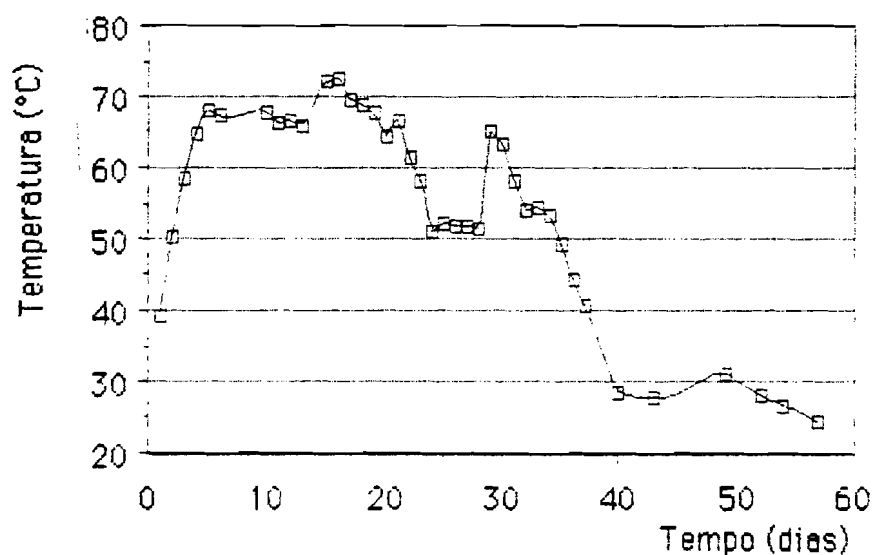


Figura 15 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 2 não considerando o efeito do revolvimento.

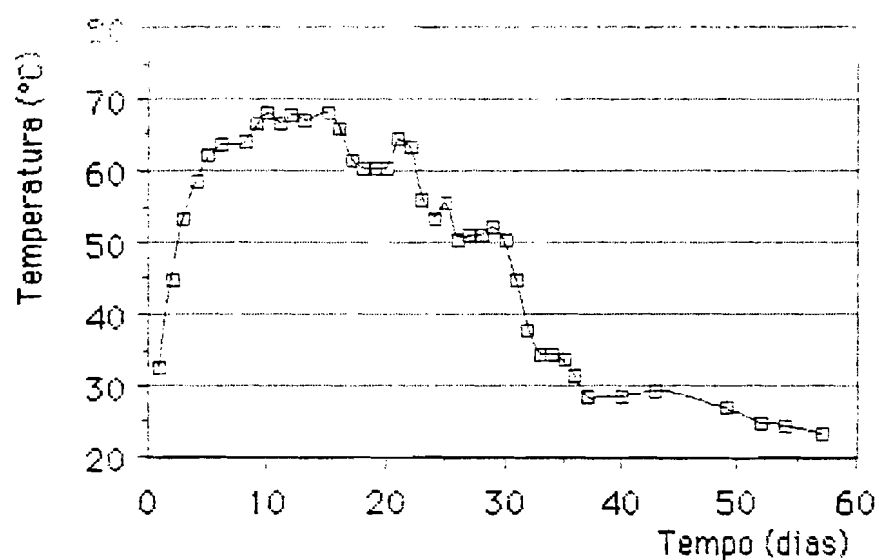


Figura 16 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 3 não considerando o efeito do revolvimento.

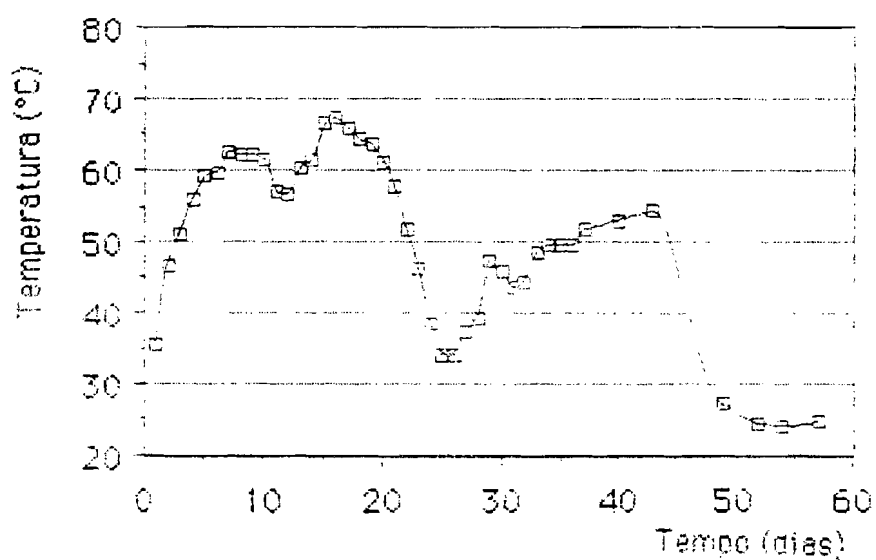


Figura 17 - Temperatura média diária dos resíduos sólidos na célula 4 não considerando o efeito do revolvimento.

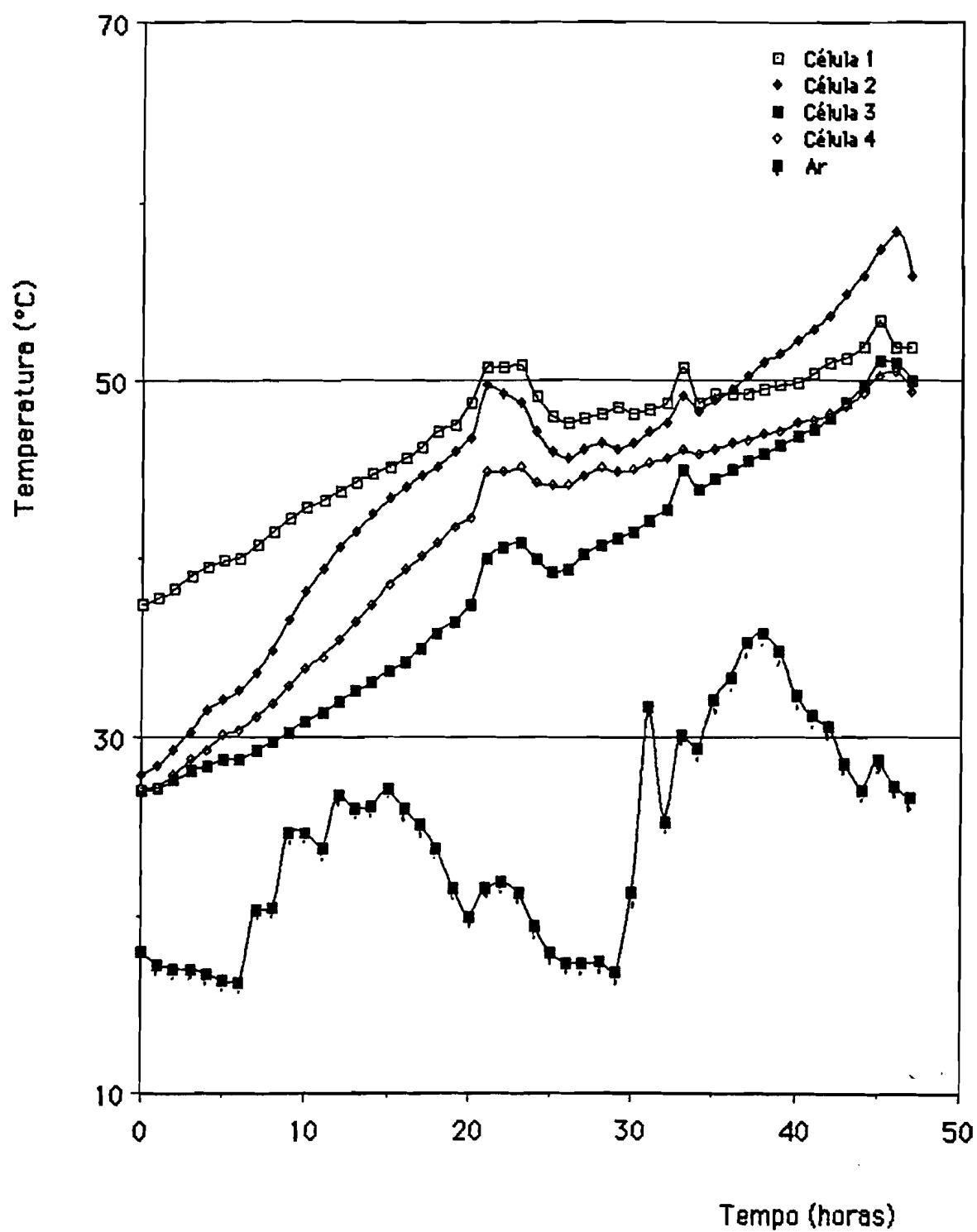


Figura 18 - Temperatura do ar e dos resíduos sólidos nos dois primeiros dias do processo de compostagem.

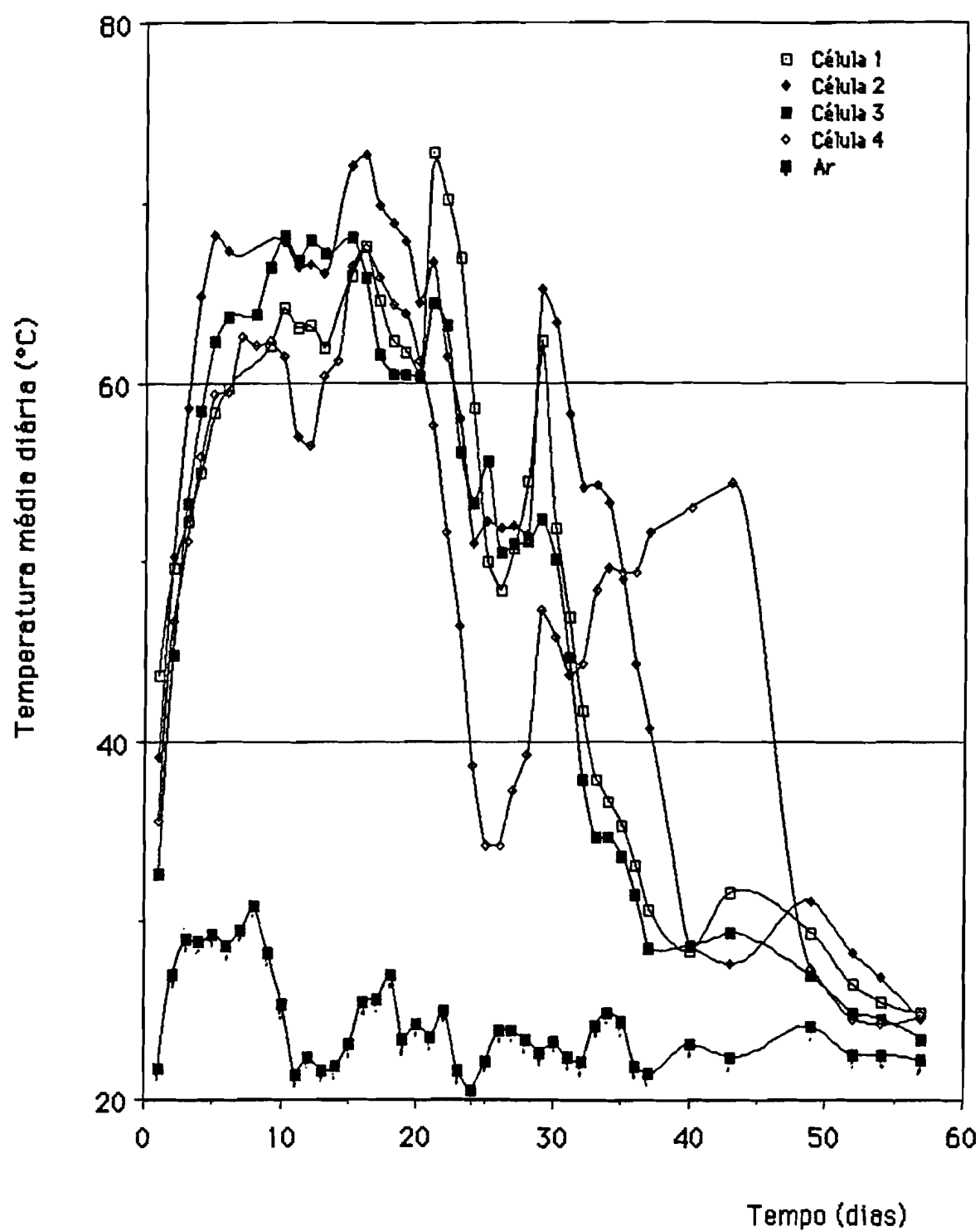


Figura 19 - Temperatura média diária do ar e dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem.

Quadro 27 - Resumo dos aspectos mais importantes referentes à evolução da temperatura dos resíduos sólidos

		Celula 1	Celula 2	Celula 3	Celula 4
Taxa da temperatura 0 - 6 dias (° C/dia)		3.1	5.7	6.1	4.7
Média das temperaturas médias diárias	6-13 dias	52.0	61.2	62.4	58.4
	13-20 dias	60.7	65.4	60.5	61.3
	6-20 dias	59.5	63.3	61.1	59.9
	20-28 dias	58.8	55.8	55.6	44.1
Início do declínio da temperatura média diária (dia)		22º	17º	16º	16º

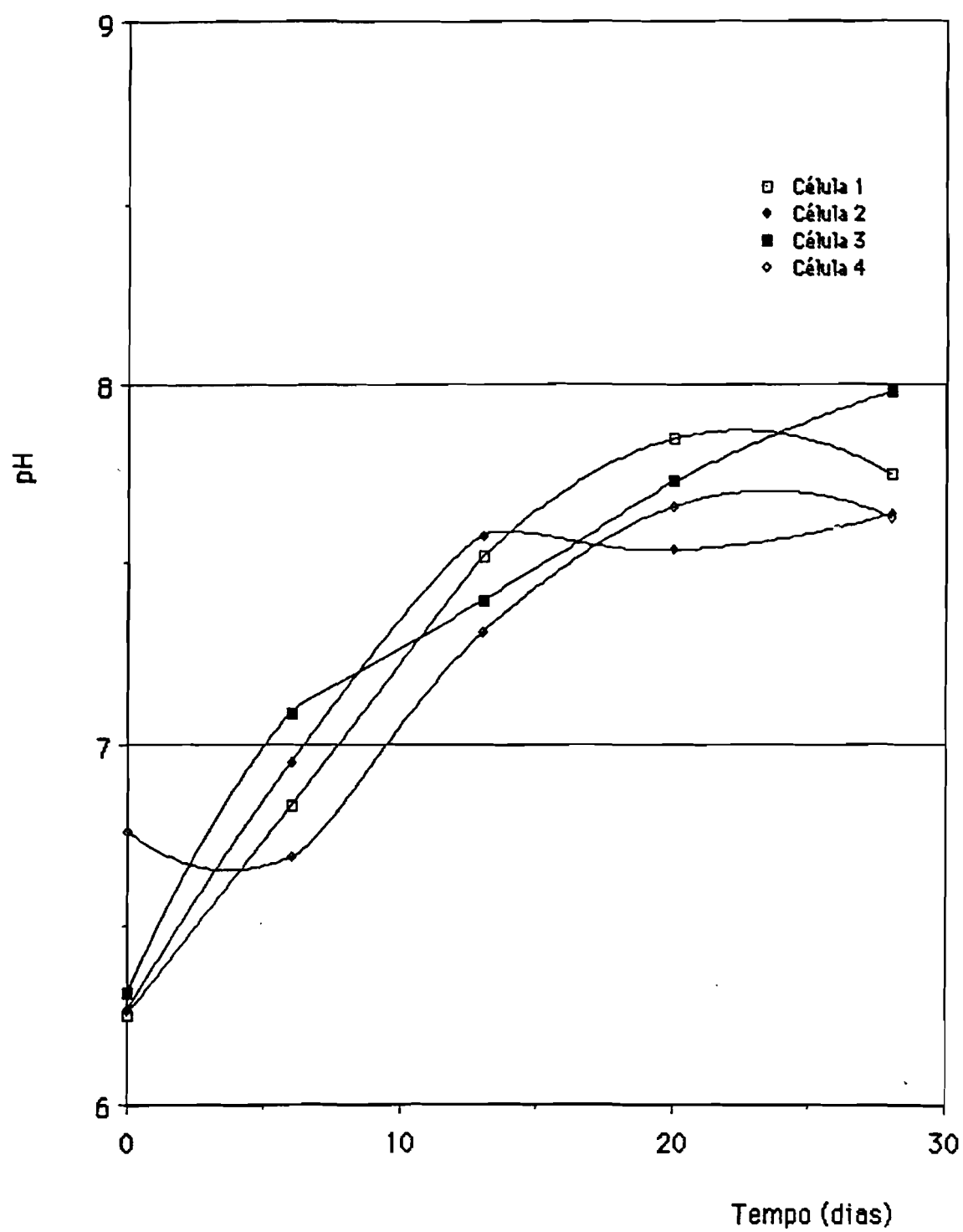


Figura 20 - pH dos resíduos sólidos.

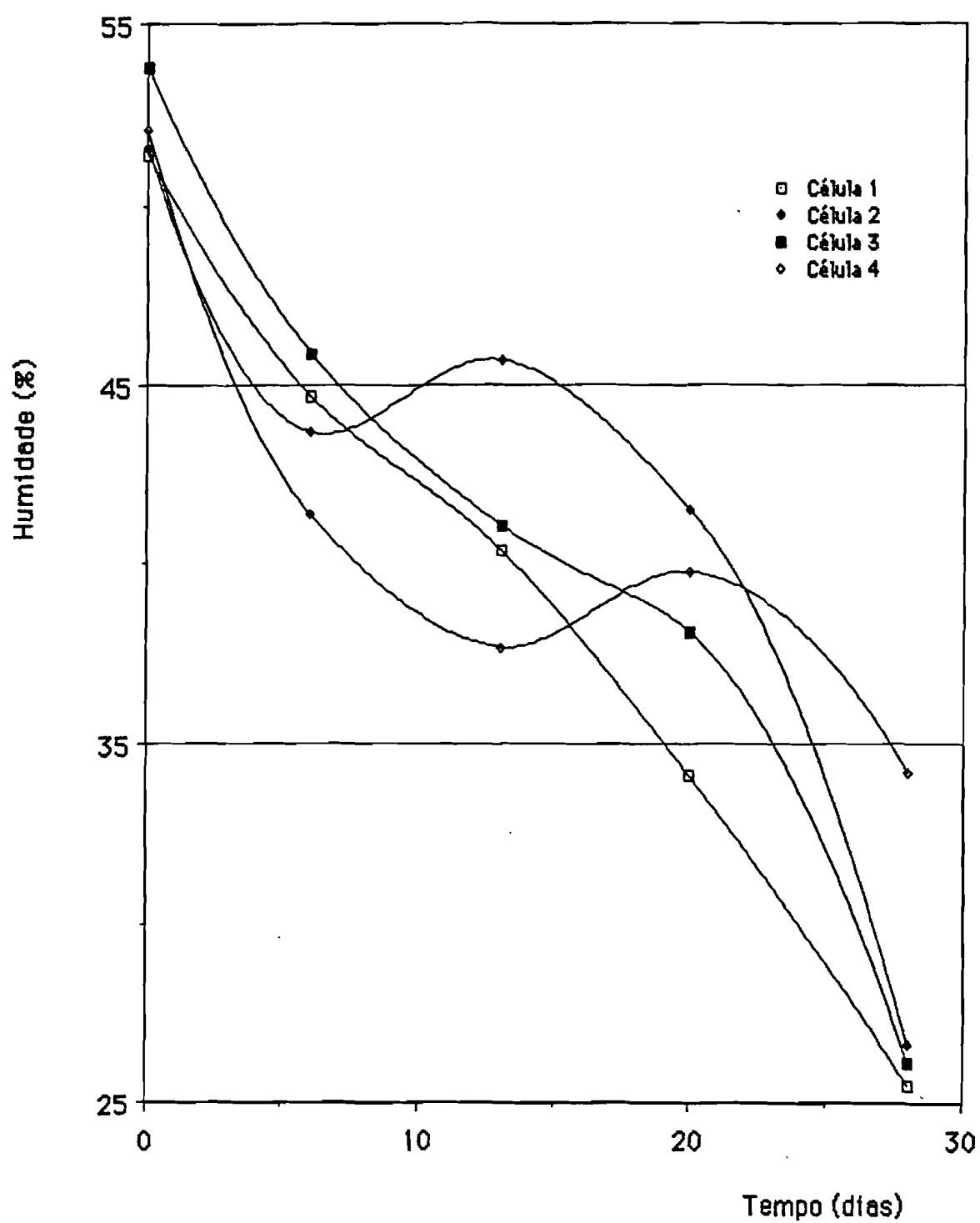


Figura 21 - Humidade dos resíduos sólidos.

8.2.2. Análise de dispersão dos resultados analíticos

A partir dos resultados das determinações de humidade, inertes, perda por calcinação, Carbono orgânico, pelo método da ANNE e pelo método de ROLLE e ORSANIC, e Azoto orgânico (Quadro 19 a 24), calcularam-se os respectivos valores médios e a variação percentual através da expressão

$$\Delta \% = \frac{\text{amplitude de variação}}{\text{média}} \times 100$$

Pretendeu-se, deste modo, obter uma noção quantitativa do significado das médias calculadas (Quadro 28) e da dispersão dos valores experimentais, eventuais índices de heterogeneidade do material.

Assim, no caso da determinação de perda por calcinação, a variação entre duplicados era tão reduzida que permitiu que, posteriormente, se procedesse a uma só determinação por amostra. Esta opção foi tomada devido à grande quantidade de determinações a fazer, com a reduzida disponibilidade de espaço e material de que dispunhamos.

Na determinação de Carbono orgânico por qualquer dos métodos utilizados, as variações dos duplicados são, nalguns casos, de tal modo acentuadas que levam a pôr em causa a validade dos valores médios. Seria conveniente repetir a determinação um maior número de vezes para que o valor médio fosse significativo. Tal não foi possível, pelo que os resultados são apresentados com limites claros quanto à sua significância.

Quadro 28 – Valor médio, percentagem de variação e valor corrigido das determinações de humidade, perda por calcinação, inertes, Carbono orgânico e Azoto orgânico

Celula	Tempo (dias)	Humidade		Perda por calcinação			Inertes		Carbono orgânico (Método de ANNE)			Carbono orgânico (Método de ROLLE e ORSANIC)			Azoto orgânico		
		Média (%ps)	%Δ	Média (%ps)	%Δ	Correcção (%ps)	Média (%ps)	%Δ	Média (%ps)	%Δ	Correcção (%ps)	Média (%ps)	%Δ	Correcção (%ps)	Média (%ps)	%Δ	Correcção (%ps)
1	0	51.4	2.7	56.23	0.0	52.60	39.50	--	28.11	4.9	26.30	23.02	0.61	21.53	1.399	2.0	1.31
	6	44.7	2.0	51.55	2.5	48.14	45.21	--	32.17	7.6	30.04	27.64	6.0	25.81	1.380	8.9	1.29
	13	40.4	1.7	44.59	1.6	42.73	46.94	--	20.62	6.7	19.76	21.86	0.6	20.95	1.196	3.6	1.15
	20	34.1	0.9	40.44	--	36.98	48.73	--	18.86	16.1	17.25	15.56	12.2	14.23	1.430	--	1.31
	28	25.5	1.2	35.59	2.0	33.17	57.92	8.6	20.86	27.2	19.42	21.20	19.0	19.76	1.244	4.0	1.16
	231	10.7	--	32.01	1.7	32.01	--	--	14.38	21.2	14.38	12.41	--	12.41	1.293	--	1.29
2	0	51.6	3.9	68.16	0.5	64.65	31.50	--	28.37	--	26.90	26.69	4.4	25.31	1.224	0.5	1.16
	6	43.7	3.4	61.54	0.6	57.48	37.33	--	32.54	18.2	30.40	24.28	6.1	22.68	1.270	--	1.19
	13	45.7	1.3	48.33	--	44.24	43.22	1.3	29.73	6.2	27.21	23.87	9.5	21.85	1.113	0.27	1.02
	20	41.5	0.7	45.72	--	43.52	52.02	--	26.77	6.5	25.48	23.27	4.7	22.15	1.378	--	1.31
	28	26.6	1.9	32.99	--	30.85	57.03	0.0	19.99	12.2	18.70	19.05	12.6	17.82	1.132	5.5	1.06
	231	11.8	--	30.00	1.7	30.00	--	--	14.33	0.07	14.33	13.01	39.7	13.01	1.419	--	1.42
3	0	53.8	3.9	66.99	2.5	62.45	34.42	--	17.78	25.6	16.58	29.60	10.3	27.60	1.539	3.0	1.43
	6	45.9	4.8	65.69	--	60.02	36.12	--	27.87	18.4	25.47	24.65	21.8	22.52	1.344	--	1.23
	13	41.1	4.1	51.84	--	48.75	43.41	--	29.93	4.8	28.15	21.32	11.7	20.05	1.160	2.2	1.09
	20	38.1	1.6	40.95	--	38.99	51.11	--	22.52	--	21.44	18.12	9.1	17.25	1.476	--	1.41
	28	26.1	3.1	34.59	--	31.61	57.71	--	19.90	15.6	18.19	10.31	15.4	9.42	1.211	0.25	1.11
	231	10.8	--	30.84	3.4	30.84	--	--	14.17	4.6	14.17	12.34	4.6	12.34	1.356	--	1.36
4	0	52.1	0.4	57.30	--	49.34	37.20	--	30.36	2.2	26.14	22.96	16.1	19.77	2.586	4.3	2.23
	6	41.4	1.2	53.07	--	47.54	38.73	--	21.00	4.1	18.81	25.65	17.1	22.96	2.46	--	2.20
	13	37.7	1.6	48.86	--	44.41	40.63	10.8	25.41	8.5	23.09	23.12	2.3	21.01	2.258	1.8	2.05
	20	39.8	1.8	43.02	--	41.49	50.03	--	25.58	5.5	24.67	21.76	--	20.99	1.276	--	1.23
	28	34.2	5.6	43.96	--	40.56	50.43	--	25.47	21.1	23.50	22.98	15.9	21.20	1.33	10.5	1.23
	231	9.0	--	36.23	--	36.23	--	--	20.20	8.0	20.20	10.06	12.4	10.06	1.170	--	1.17

Para a dispersão dos resultados, contribuíram a quantidade demasiado reduzida de amostra analisada, dada a heterogeneidade do material e a dificuldade da titulação e de controlo da temperatura da reacção de oxidação da amostra pelo Dicromato de Potássio, no caso do método de ANNE.

No caso dos inertes, o reduzido número de duplicados efectuados, não permitiu proceder ao mesmo tipo de análise dos dados disponíveis.

Os valores médios foram, posteriormente, corrigidos (Quadro 25) tendo em consideração que só uma fracção da amostra tinha sido triturada (Quadro 28).

8.2.3. Comparação dos métodos analíticos utilizados para determinar a matéria orgânica

Inertes - A análise de inertes representa uma estimativa da matéria orgânica, distinguindo a referente aos plásticos; não permite determinar precisamente a matéria orgânica porque a água de javel e as lavagens sucessivas eliminam uma fracção das matérias minerais (HORELLOU, 1982-83).

A diferença (100-inertes) é, de uma forma geral, superior à perda por calcinação, mesmo depois de descontada a perda por calcinação devido aos plásticos.

Perda por calcinação - é uma medida da matéria orgânica, incluindo a referente aos plásticos.

Verifica-se uma certa disparidade entre as temperaturas e as durações de calcinação propostas por diversos autores. ROUSSEL (1974-75), num estudo comparativo dos compostos produzidos por diferentes processos de compostagem, determinou a perda por calcinação a 550°C durante uma hora. No entanto, em ensaios realizados no CEMAGREF-ANRED (1982), verificou-se que, após duas horas a 500° C, ainda permaneciam cerca de 25% do peso inicial de Policloreto de Vinilo, 25% do peso inicial de papel e 25% do peso inicial de matéria vegetal. A EPA (1985), determina a perda por calcinação a 450°C.

Utilizando os resultados obtidos por HORELLOU (1982-83), num estudo sobre a influência dos diversos constituintes dos resíduos na perda por calcinação (ANEXO 6), verifica-se que, a 550°C, obtem-se uma perda devida a materiais de natureza calcária, alumínio e cobre.

Carbono orgânico (método de ANNE e método de ROLLE e ORSANIC) - Utilizando ainda os resultados do trabalho de HORELLOU , verifica-se que aqueles métodos avaliam, por defeito, o Carbono orgânico total, dado que não consideram inteiramente o Carbono dos plásticos. Isto acontece, principalmente, no método de ROLLE e ORSANIC. Por outro lado, esta avaliação contém a imprecisão de incluir os metais e, no caso do método de ANNE, incluir ainda outros materiais, como os de natureza calcária.

Para a conversão do Carbono orgânico em matéria orgânica é, por vezes, sugerido o factor 1.724, embora com reservas, devido ao facto de ter sido obtido para solos (ROLLE e ORSANIC, 1964; MOREL, 1977; SOLTNER, 1983).

ROLLE e ORSANIC (1964) propõem, por outro lado, o factor 0.77, designado por factor empírico de WALKLEY - BLACK, para converter o Carbono obtido em matéria orgânica degradável. Na bibliografia disponível, não foi encontrada referência sobre a origem deste factor. Por isso, utilizaram-se os resultados obtidos pela análise do Carbono orgânico, pelo método de ANNE e pelo método de ROLLE e ORSANIC, sem conversão. Do mesmo modo procederam também outros autores, tais como HORELLOU (1982-83) e MOREL (1977).

Concluiu-se, pois, pelo significado limitado dos valores experimentais e pela dificuldade de comparação de resultados obtidos através de diferentes métodos analíticos. O significado que apresentam será, pois, essencialmente para fins comparativos e de valor semi-quantitativo.

As determinações de Inertes, de perda por calcinação e de Carbono orgânico permitem, pois, apenas, avaliar de modo grosseiro a matéria orgânica dos resíduos sólidos, podendo ser correlacionadas entre si. A partir destas correlações é possível estimar a matéria orgânica, seleccionando de entre aqueles métodos os que fornecem resultados mais reprodutíveis.

No Quadro 29 apresentam-se os resultados do estabelecimento de relações lineares entre aquelas determinações, aplicando o método dos mínimos quadrados.

Para cada recta de regressão estimada ($y = b x + a$), calculou-se :

- a) coeficiente de correlação linear (r)
- b) coeficiente de determinação (R^2)
- c) Teste de t-student - Ensaia a hipótese de o coeficiente b associado à variável independente, ser nulo (H_0). Neste caso, as variáveis não estão relacionadas. O nível de significância (α) escolhido foi de 1%, isto é, a probabilidade de rejeitar a hipótese de $b = 0$, sendo esta verdadeira, é de 1%.
- d) Intervalo de confiança - construiu-se um intervalo de confiança para o valor de b de 99%, isto é, a probabilidade do intervalo conter o verdadeiro valor de b é de 99%.

A escolha das determinações analíticas, utilizadas para variável dependente (y), ou para variável independente (x), foi condicionada pela dificuldade da análise. À variável independente (x) está associada um menor grau de incerteza, razão porque foi escolhida para variável dependente (y), a de mais difícil determinação e de menor rigor analítico.

Quadro 29 - Relações entre perda por calcinação , 100 - inertes e Carbono orgânico

x	y	Expressão	Pares de valores	r	R ²	Estatística t - student			Intervalo de confiança para b a 95%
						t tabelado $\alpha = 1\%$	t encontrado	resultado da estatística	
Perda por calcinação	Carbono org. (ANNE)	$y = 0.301x + 8.968$	todos (24)	0.623	0.388	2.807	3.737	rejeito Ho	[0.134 , 0.468]
Perda por calcinação	Carbono org. (ANNE)	$y = 0.405x + 4.995$	23 *	0.796	0.634	2.819	6.028	rejeito Ho	[0.265 , 0.544]
Perda por calcinação	Carbono org. (ROLLE e ORSANIC)	$y = 0.382x + 2.588$	todos (24)	0.798	0.637	2.807	6.211	rejeito Ho	[0.254 , 0.510]
Carbono org. (ROLLE e ORSANIC)	Carbono org. (ANNE)	$y = 0.615x + 10.248$	todos (24)	0.610	0.372	2.807	3.161	rejeito Ho	[0.262 , 0.968]
Carbono org. (ROLLE e ORSANIC)	Carbono org. (ANNE)	$y = 0.802x + 7.168$	23 •	0.765	0.585	2.819	5.441	rejeito Ho	[0.496 , 1.109]
100 - inertes	Perda por calcinação	$y = 1.138x - 16.656$	todos (20)	0.931	0.868	2.861	10.862	rejeito Ho	[0.918 , 1.358]
Carbono org. (ANNE)	100 - inertes	$y = 0.736x + 37.846$	todos (20)	0.398	0.158	2.861	1.838	aceito Ho □	---
Carbono org. (ROLLE e ORSANIC)	100 - inertes	$y = 1.318x + 27.690$	todos (20)	0.658	0.432	2.861	3.703	rejeito Ho	[0.570 , 2.067]

Quadro 29 - Relações entre perda por calcinação , 100 - inertes e Carbono orgânico (cont.)

x	y	Expressão	Pares de valores	r	R ²	Estatística t - student			Intervalo de confiança para b a 95%
						t tabelado $\alpha = 1\%$	t encontrado	resultado da estatística	
100 - inertes	Perda por calcinação -plásticos	$y = 1.137x - 17.548$	todos (20)	0.929	0.864	2.861	10.672	rejeito Ho	[0.913 , 1.361]
Perda por calcinação -plásticos	Carbono org. (ANNE)	$y = 0.322x + 9.531$	19©	0.718	0.515	2.878	4.252	rejeito Ho	[0.162 , 0.481]
Perda por calcinação -plásticos	Carbono org. (ROLLE e ORSANIC)	$y = 0.305x + 7.008$	todos (20)	0.748	0.560	2.861	4.786	rejeito Ho	[0.171 , 0.439]

* Par excluído (62.45; 16.58)

● Par excluído (27.60; 16.58)

□ rejeito para $\alpha = 10\%$

© Par excluído (61.72; 16.58)

A relação encontrada entre (100 - inertes) e a perda por calcinação foi aceitável: 86.8 % da variação da perda por calcinação é explicada pela variação dos (100 - inertes).

As relações entre o Carbono orgânico, pelo método de ANNE e pelo método de ROLLE e ORSANIC e entre estes e (100 - inertes) são pouco consistentes, provavelmente devido à fraca representatividade dos resultados do Carbono orgânico.

Verificou-se, também, que a inclusão do teor de plásticos, obtido pela determinação de inertes (Quadro 20), não traz vantagens às relações encontradas, talvez devido ao facto de o seu teor nos resíduos ser reduzido.

Nas Figuras 22 e 23 apresentam-se as regressões lineares do Carbono orgânico (método de ANNE) em função da perda por calcinação e da perda por calcinação em função dos (100 - inertes).

A relação encontrada entre a perda por calcinação e o Carbono orgânico (método de ANNE) $y = 0.405 x + 4.995$, foi comparada com a relação entre os mesmos parâmetros obtidos no CEMAGREF em 1986 (com. pess.) (Quadro 30):

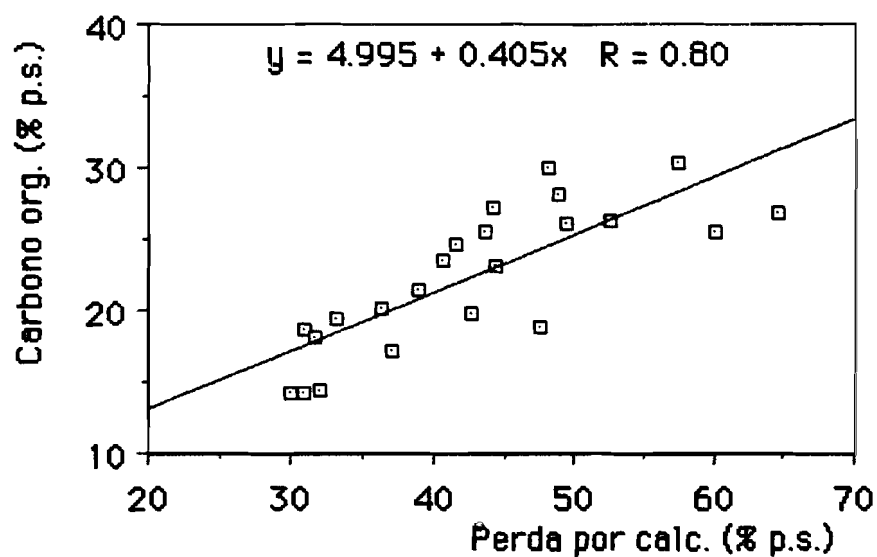


Figura 22 - Regressão linear entre a perda por calcinação e o Carbono orgânico (método de ANNE).

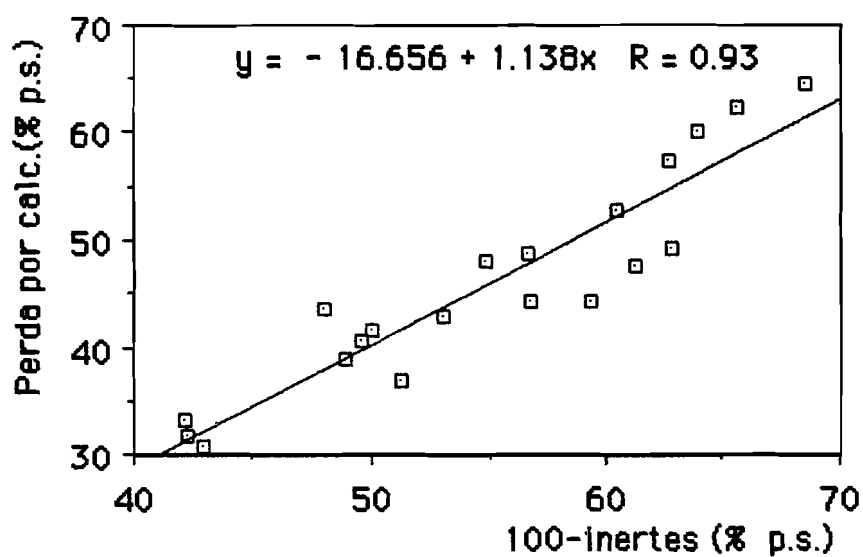


Figura 23 - Regressão linear entre (100-inertes) e a perda por calcinação.

$$PC - 0.9 \text{ plásticos} = 2.11 C_{\text{ANNE}} - 2.90 \quad r > 0.99$$

PC = perda por calcinação em % peso seco

Plásticos = teor em plásticos > 2 mm em % peso seco

C_{ANNE} = Carbono orgânico, método de ANNE, em % peso seco

Os resultados de Carbono orgânico obtidos por ambas as expressões são aproximadamente iguais, pelo que se optou por trabalhar com os resultados do Carbono orgânico (método de ANNE) calculados pela expressão anteriormente referida ($y = 0.405 x + 4.995$).

8.2.4. Balanço Ponderal

Durante o processo de compostagem procedeu-se ao revolvimento das pilhas de resíduos, retiraram-se amostras para análise e adicionou-se água. Este procedimento dificulta o estabelecimento da evolução da humidade e da matéria orgânica, de modo a avaliar como decorreu o processo de degradação.

Procurou-se ultrapassar os efeitos daquele procedimento estabelecendo um balanço ponderal durante o processo de compostagem (Figuras 24 a 27), utilizando os resultados do peso húmido dos resíduos, antes e após o revolvimento (Quadro 15), do peso de amostra recolhida para as

Quadro 30 - Comparação do Carbono orgânico (método de ANNE),
 obtido pelas expressões $y = 0.405x + 4.995$ (a) e
 $PC - 0.9 \text{ plásticos} = 2.11 C(\text{ANNE}) - 2.90$ (b) a partir
 dos valores da perda por calcinação

Tempo (dias)	Celula 1		Celula 2		Célula 3		Célula 4	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0	26.30	25.78	31.18	31.76	30.29	30.66	24.98	24.34
6	24.49	23.92	28.27	28.32	29.30	29.20	24.25	23.52
13	22.30	21.18	22.91	22.00	24.74	24.12	22.98	21.86
20	19.97	18.45	22.62	21.53	20.79	19.16	21.80	20.62
28	18.43	16.78	17.49	15.69	17.80	16.01	21.42	20.29

determinações físico-químicas (Quadro 16), volume de água adicionado aos resíduos (Quadro 17) e humidade (Quadro 19).

A diferença do peso dos resíduos antes e após o revolvimento das pilhas é por vezes superior à soma algébrica da quantidade de água adicionada e da amostra recolhida. Atribuiu-se logicamente esta diferença a perdas de água por evaporação.

Com base neste balanço, previu-se a evolução do peso seco dos resíduos durante a compostagem, caso não se tivesse revolvido as pilhas, recolhido amostras ou adicionado água (Quadro 31).

Nas Figuras 24 a 27 :

t = tempo (dias)

P = perda de peso devida à degradação dos resíduos sólidos e à perda de água (Kilogramas)

A = amostra total recolhida durante o revolvimento (Kilogramas)

H₂O = água adicionada durante o revolvimento (Kilogramas)

M = perda de peso durante o revolvimento atribuída à evaporação da água (Kilogramas)

H = humidade dos resíduos sólidos (percentagem)

	Peso húmido		Peso seco		Peso água	
t = 0	500	=	243	+	253	H = 51,4%
P	<u>119</u>		<u>32</u>		<u>87</u>	
t = 6	381	=	211	+	170	H = 44,7%
A	<u>24</u>		<u>13</u>		<u>11</u>	
	357	=	198	+	159	
H ₂ O	<u>54</u>		<u>0</u>		<u>54</u>	
	411	=	198	+	213	
M	<u>17</u>		<u>0</u>		<u>17</u>	
	394	=	198	+	196	
P	<u>109</u>		<u>28</u>		<u>81</u>	
t = 13	285	=	170	+	115	H = 40,4%
A	<u>22</u>		<u>13</u>		<u>9</u>	
	263	=	157	+	106	
H ₂ O	<u>40</u>		<u>0</u>		<u>40</u>	
	303	=	157	+	146	
M	<u>4</u>		<u>0</u>		<u>4</u>	
	299	=	157	+	142	
P	<u>63</u>		<u>1</u>		<u>62</u>	
t = 20	236	=	156	+	80	H = 34,1%
A	<u>15</u>		<u>10</u>		<u>5</u>	
	221	=	146	+	75	
H ₂ O	<u>20</u>		<u>0</u>		<u>20</u>	
	241	=	146	+	95	
M	<u>12</u>		<u>0</u>		<u>12</u>	
	229	=	146	+	83	
P	<u>46</u>		<u>10</u>		<u>36</u>	
t = 28	183	=	136	+	47	H = 25,5%
A	<u>18</u>		<u>13</u>		<u>5</u>	
	165	=	123	+	42	
H ₂ O	<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>	
	165	=	123	+	42	
M	<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>	
	165	=	123	+	42	
P	<u>40</u>		<u>11</u>		<u>29</u>	
t = 231	125	=	112	+	13	H = 10,7%

Figura 24 - Balanço ponderal - Célula 1

	Peso húmido		Peso seco		Peso água	
t = 0	580	=	281	+	299	H = 51,6%
P	<u>126</u>		<u>25</u>		<u>101</u>	
t = 6	454	=	256	+	198	H = 43,7%
A	<u>20</u>		<u>11</u>		<u>9</u>	
	434	=	245	+	189	
H ₂ O	<u>144</u>		<u>0</u>		<u>144</u>	
	578	=	245	+	333	
M	<u>48</u>		<u>0</u>		<u>48</u>	
	530	=	245	+	285	
P	<u>143</u>		<u>35</u>		<u>108</u>	
t = 13	387	=	210	+	177	H = 45,7%
A	<u>26</u>		<u>14</u>		<u>12</u>	
	361	=	196	+	165	
H ₂ O	<u>66</u>		<u>0</u>		<u>66</u>	
	427	=	196	+	231	
M	<u>45</u>		<u>0</u>		<u>45</u>	
	382	=	196	+	186	
P	<u>92</u>		<u>26</u>		<u>66</u>	
t = 20	290	=	170	+	120	H = 41,5%
A	<u>21</u>		<u>12</u>		<u>9</u>	
	269	=	158	+	111	
H ₂ O	<u>23</u>		<u>0</u>		<u>23</u>	
	292	=	158	+	134	
M	<u>10</u>		<u>0</u>		<u>10</u>	
	282	=	158	+	124	
P	<u>72</u>		<u>4</u>		<u>68</u>	
t = 28	210	=	154	+	56	H = 26,6%
A	<u>16</u>		<u>12</u>		<u>4</u>	
	194	=	142	+	52	
H ₂ O	<u>20</u>		<u>0</u>		<u>20</u>	
	214	=	142	+	72	
M	<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>	
	214	=	142	+	72	
P	<u>77</u>		<u>21</u>		<u>56</u>	
t = 231	137	=	121	+	16	H = 11,8%

Figura 25 - Balanço ponderal - Célula 2

	Peso húmido		Peso seco		Peso água	
t = 0	522	=	241	+	281	H = 53,8%
P	<u>108</u>		<u>17</u>		<u>91</u>	
t = 6	414	=	224	+	190	H = 45,9%
A	<u>23</u>		<u>12</u>		<u>11</u>	
	391	=	212	+	179	
H ₂ O	<u>66</u>		<u>0</u>		<u>66</u>	
	457	=	212	+	245	
M	<u>9</u>		<u>0</u>		<u>9</u>	
	448	=	212	+	236	
P	<u>126</u>		<u>22</u>		<u>104</u>	
t = 13	322	=	190	+	132	H = 41,1%
A	<u>21</u>		<u>12</u>		<u>9</u>	
	301	=	178	+	123	
H ₂ O	<u>72</u>		<u>0</u>		<u>72</u>	
	373	=	178	+	195	
M	<u>38</u>		<u>0</u>		<u>38</u>	
	335	=	178	+	157	
P	<u>79</u>		<u>20</u>		<u>59</u>	
t = 20	256	=	158	+	98	H = 38,1%
A	<u>20</u>		<u>12</u>		<u>8</u>	
	236	=	146	+	90	
H ₂ O	<u>18</u>		<u>0</u>		<u>18</u>	
	254	=	146	+	108	
M	<u>11</u>		<u>0</u>		<u>11</u>	
	243	=	146	+	97	
P	<u>63</u>		<u>13</u>		<u>50</u>	
t = 28	180	=	133	+	47	H = 26,1%
A	<u>16</u>		<u>12</u>		<u>4</u>	
	164	=	121	+	43	
H ₂ O	<u>8</u>		<u>0</u>		<u>8</u>	
	172	=	121	+	51	
M	<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>	
	172	=	121	+	51	
P	<u>47</u>		<u>10</u>		<u>37</u>	
t = 231	125	=	111	+	14	H = 10,8%

Figura 26 - Balanço ponderal - Célula 3

	Peso húmido		Peso seco		Peso água	
t = 0	493	=	236	+	257	H = 52,1%
P	<u>105</u>		<u>8</u>		<u>97</u>	
t = 6	388	=	228	+	160	H = 41,4%
A	<u>20</u>		<u>12</u>		<u>8</u>	
	368	=	216	+	152	
H ₂ O	<u>36</u>		<u>0</u>		<u>36</u>	
	404	=	216	+	188	
M	<u>15</u>		<u>0</u>		<u>15</u>	
	389	=	216	+	173	
P	<u>81</u>		<u>24</u>		<u>57</u>	
t = 13	308	=	192	+	116	H = 37,7%
A	<u>21</u>		<u>13</u>		<u>8</u>	
	287	=	179	+	108	
H ₂ O	<u>64</u>		<u>0</u>		<u>64</u>	
	351	=	179	+	172	
M	<u>26</u>		<u>0</u>		<u>26</u>	
	325	=	179	+	146	
P	<u>44</u>		<u>10</u>		<u>34</u>	
t = 20	281	=	169	+	112	H = 39,8%
A	<u>21</u>		<u>13</u>		<u>8</u>	
	260	=	156	+	104	
H ₂ O	<u>20</u>		<u>0</u>		<u>20</u>	
	280	=	156	+	124	
M	<u>15</u>		<u>0</u>		<u>15</u>	
	265	=	156	+	109	
P	<u>26</u>		<u>0</u>		<u>26</u>	
t = 28	239	=	156	+	83	H = 34,2%
A	<u>17</u>		<u>11</u>		<u>6</u>	
	222	=	145	+	77	
H ₂ O	<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>	
	222	=	145	+	77	
M	<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>	
	222	=	145	+	77	
P	<u>92</u>		<u>27</u>		<u>65</u>	
t = 231	130	=	118	+	12	H = 9,0%

Figura 27 - Balanço ponderal- Célula 4

Quadro 31 - Peso seco dos resíduos sólidos durante o processo de compostagem

Tempo (dias)	Celula 1		Celula 2		Celula 3		Celula 4	
	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)
0	243.0	100	281.0	100	241.0	100	236.0	100
6	211.0	86.8	256.0	91.1	224.0	92.9	228.0	96.6
13	181.2	74.6	219.4	78.1	200.8	83.3	202.7	86.9
20	180.0	74.1	190.3	67.7	178.2	73.9	191.4	81.1
28	167.7	69.0	185.5	66.0	162.3	67.4	191.4	81.1
231	152.7	62.8	158.1	56.3	148.9	61.8	155.7	66.0

8.2.5. Remoção e taxas de remoção da matéria orgânica

No quadro 32 apresentam-se os resultados da perda por calcinação (Quadro 28) e 100 - inertes (calculados a partir dos inertes, Quadro 28), referidos ao peso seco dos resíduos sólidos existente no início do ensaio (Quadro 31). Deste modo, é possível transformar os resultados referentes à amostra, analisada em cada momento, em quantidades reais que permanecem no decurso da fermentação.

A partir destes resultados, calculou-se a remoção e as taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica, avaliada pela perda por calcinação e 100 - inertes (Quadro 33). Nas Figuras 28 a 31, comparam-se as taxas de remoção da matéria orgânica durante o processo de compostagem.

No Quadro 34 e Figura 32, apresentam-se os resultados da remoção acumulada da matéria orgânica no período 0 - 28 dias.

8.2.6. Relação Carbono/Azoto

No Quadro 35 e Figura 33 apresenta-se a relação C/N, calculada a partir do Carbono orgânico (Quadro 30) e Azoto orgânico (Quadro 28).

A evolução do Azoto orgânico nas várias células está graficada na Figura 34.

Quadro 32 – Perda por calcinação e 100 – inertes em percentagem do peso seco dos resíduos sólidos no início do ensaio de compostagem

Celula	Tempo (dias)	Peso seco (%)	Perda por calcinação (%)	100–inertes (%)
1	0	100.0	52.60	60.50
	6	86.8	41.78	47.56
	13	74.6	31.88	39.58
	20	74.1	27.34	37.98
	28	69.0	22.89	29.04
	231	62.8	20.10	--
2	0	100.0	64.65	68.50
	6	91.1	52.36	57.09
	13	78.1	34.55	44.35
	20	67.7	29.46	32.48
	28	66.0	20.36	28.36
	231	56.3	16.89	--
3	0	100.0	62.45	65.58
	6	92.9	55.76	59.34
	13	83.3	40.61	47.14
	20	73.9	28.81	36.12
	28	67.4	21.31	28.50
	231	61.8	19.06	--
4	0	100.0	49.34	62.80
	6	96.6	45.92	59.19
	13	86.9	38.59	51.59
	20	81.1	33.65	40.53
	28	81.1	32.89	40.20
	231	66.0	23.91	--

Quadro 33 - Remoção e taxas de remoção (médias diárias)
da matéria orgânica

Intervalo de tempo (dias)	Celula	Remoção (%)	taxa de remoção (% d⁻¹)
0-6	1	11.88	1.98
	2	11.88	1.98
	3	6.48	1.08
	4	3.54	0.59
6-13	1	8.89	1.27
	2	15.26	2.18
	3	13.65	1.95
	4	7.49	1.07
13-20	1	3.08	0.44
	2	8.47	1.21
	3	11.41	1.63
	4	7.98	1.14
20-28	1	6.72	0.84
	2	6.64	0.83
	3	7.60	0.95
	4	0.56	0.07

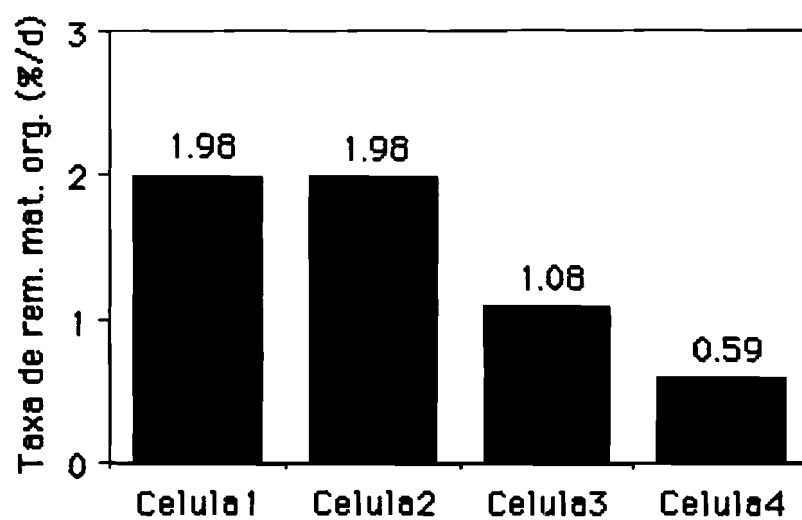


Figura 28 - Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 0-6 dias.

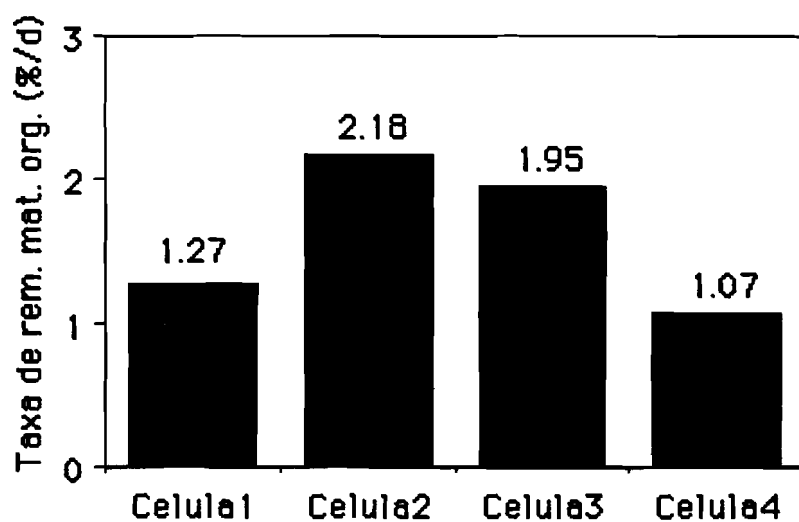


Figura 29 - Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 6-13 dias.

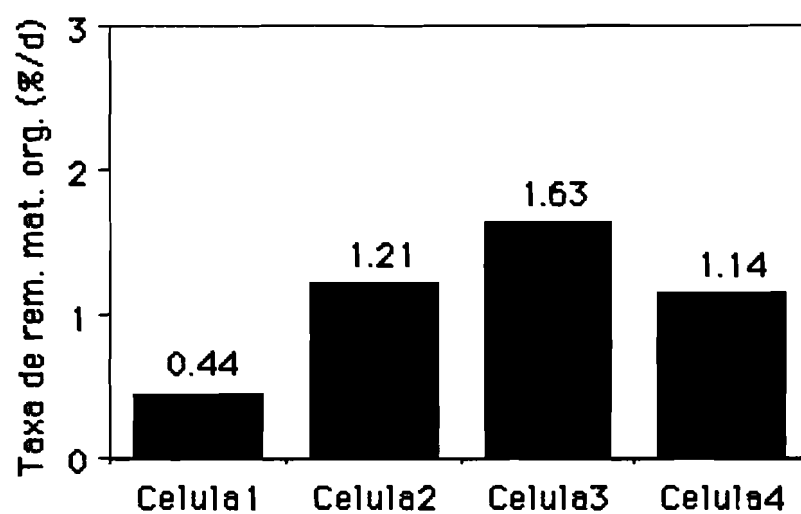


Figura 30 - Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 13-20 dias.

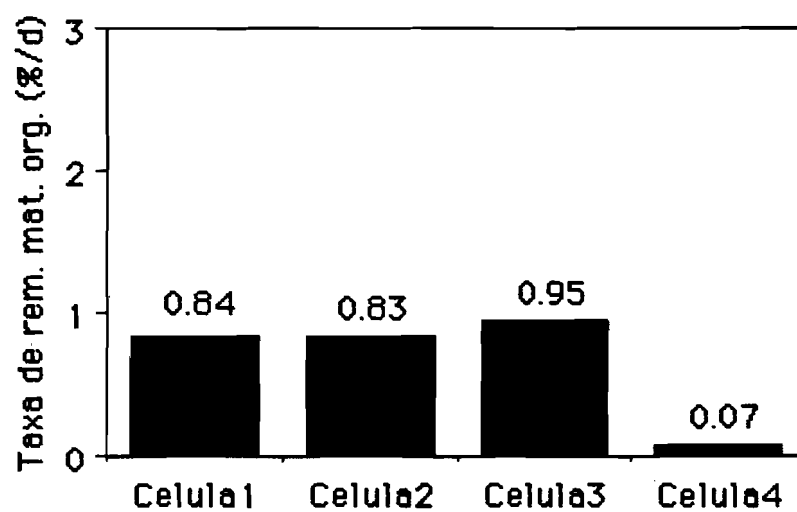


Figura 31 - Taxas de remoção (médias diárias) da matéria orgânica no período 20-28 dias.

Quadro 34 - Remoção acumulada da matéria orgânica expressa em percentagem

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	0	0	0	0
6	11.88	11.88	6.48	3.54
13	20.77	27.14	20.13	11.03
20	23.85	35.61	31.54	19.01
28	30.57	42.25	39.14	19.57

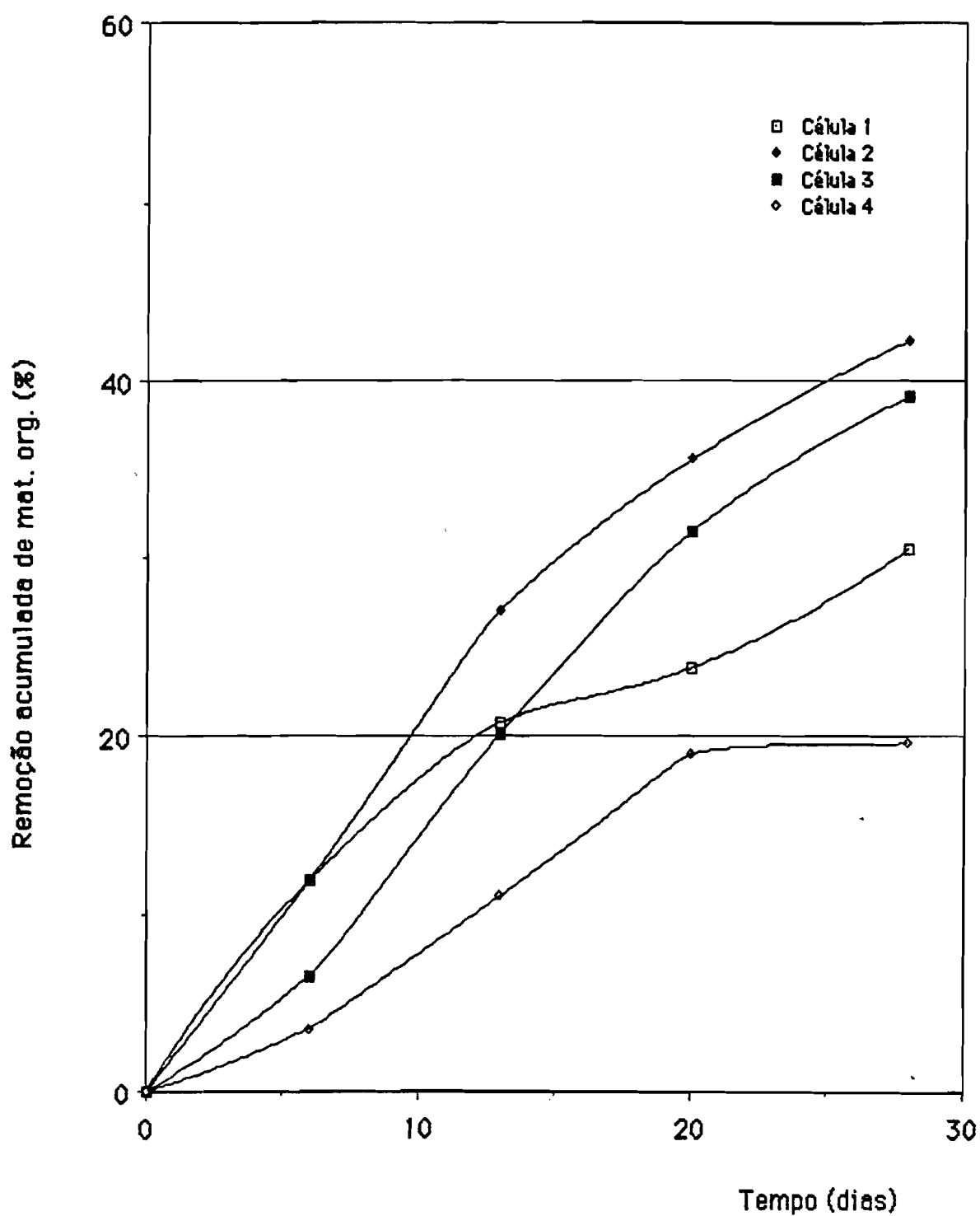


Figura 32 - Remoção acumulada de matéria orgânica.

Quadro 35 - Relação Carbono/Azoto

TEMPO (dias)	CELULA 1	CELULA 2	CELULA 3	CELULA 4
0	20.1	26.9	21.2	11.2
6	19.0	23.8	23.8	11.0
13	19.4	22.5	22.7	11.2
20	15.2	17.3	14.7	17.7
28	15.9	16.5	16.0	17.4
231	13.9	12.1	12.9	16.8

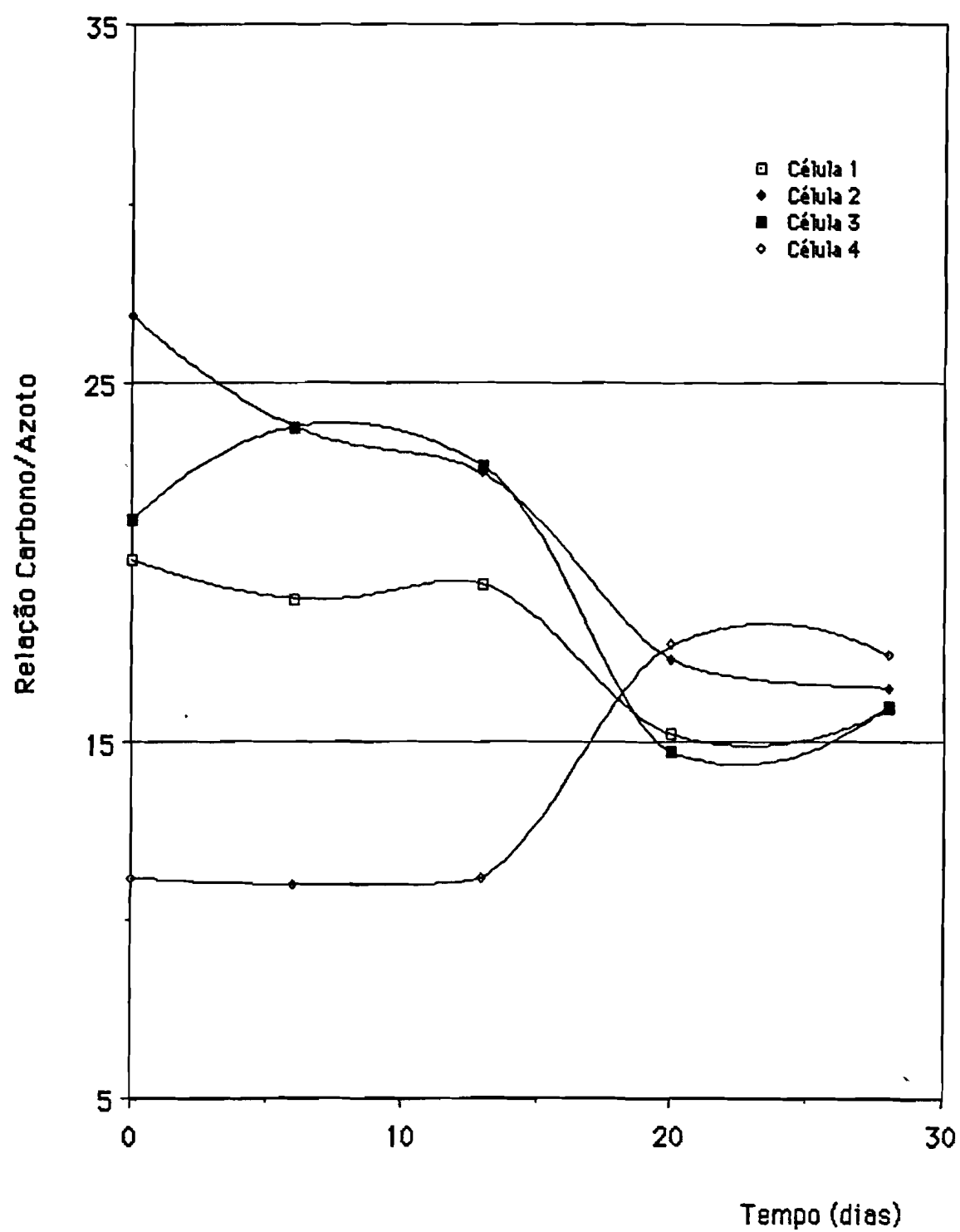


Figura 33 - Relação Carbono/Azoto.

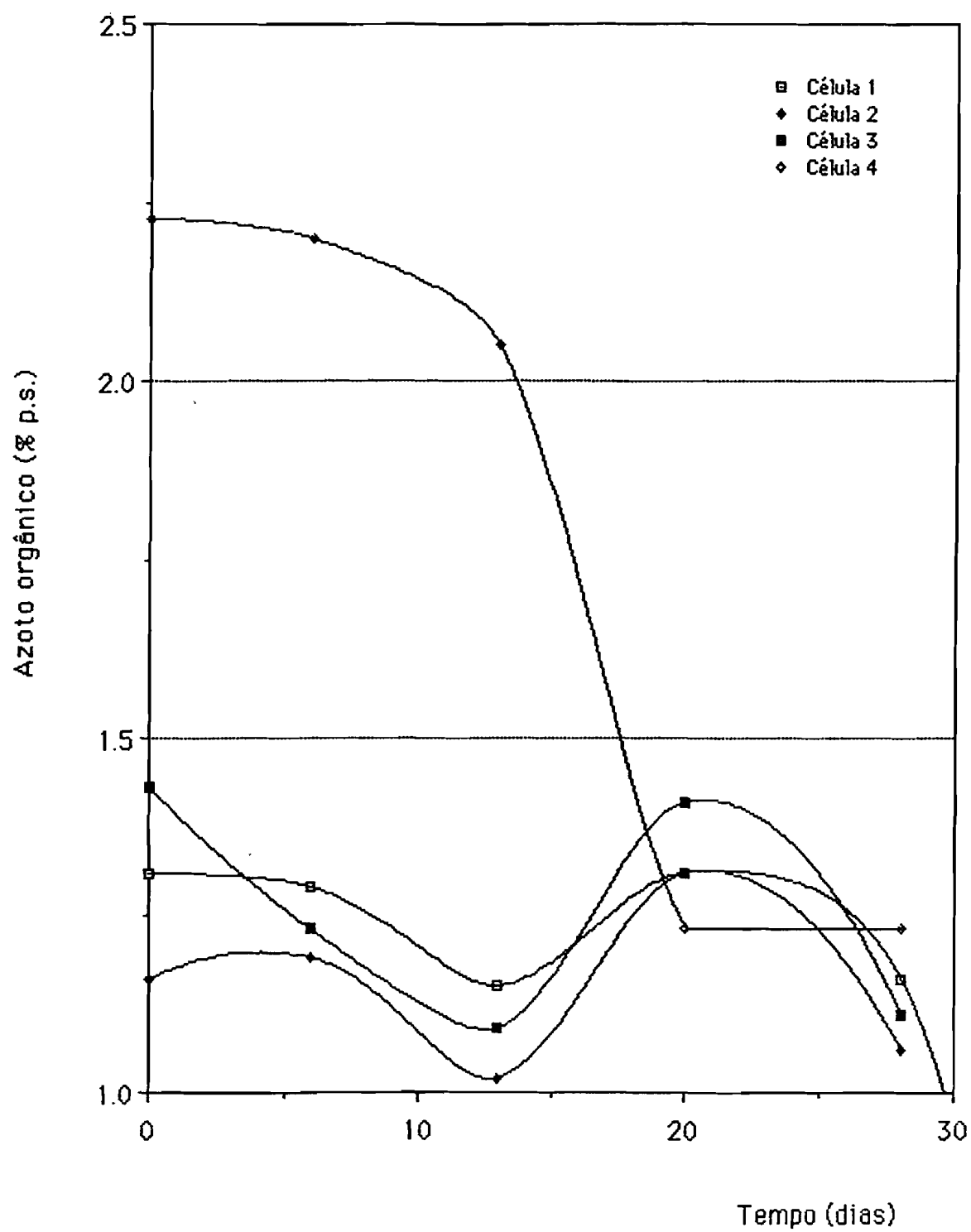


Figura 34 - Azoto orgânico.

Na Figura 35 comparam-se a composição dos resíduos e dos compostos produzidos nas quatro células.

8.2.7. Células 2, 3 e 4 - Composição calculada

Tendo em consideração as características da amostra de resíduos sólidos utilizada no ensaio de compostagem (Quadro 11) e as características do papel e da ureia (Quadro 12) , calculou-se a composição dos resíduos da célula 2, 3 e 4, admitindo que,

- a composição dos resíduos sólidos antes da adição de papel e/ou ureia era idêntica à da célula 1;
- a mistura dos resíduos com o papel e/ou ureia tinha sido homogênea.

No Quadro 36 comparam-se as composições, calculada e a observada, nas células 2, 3 e 4.

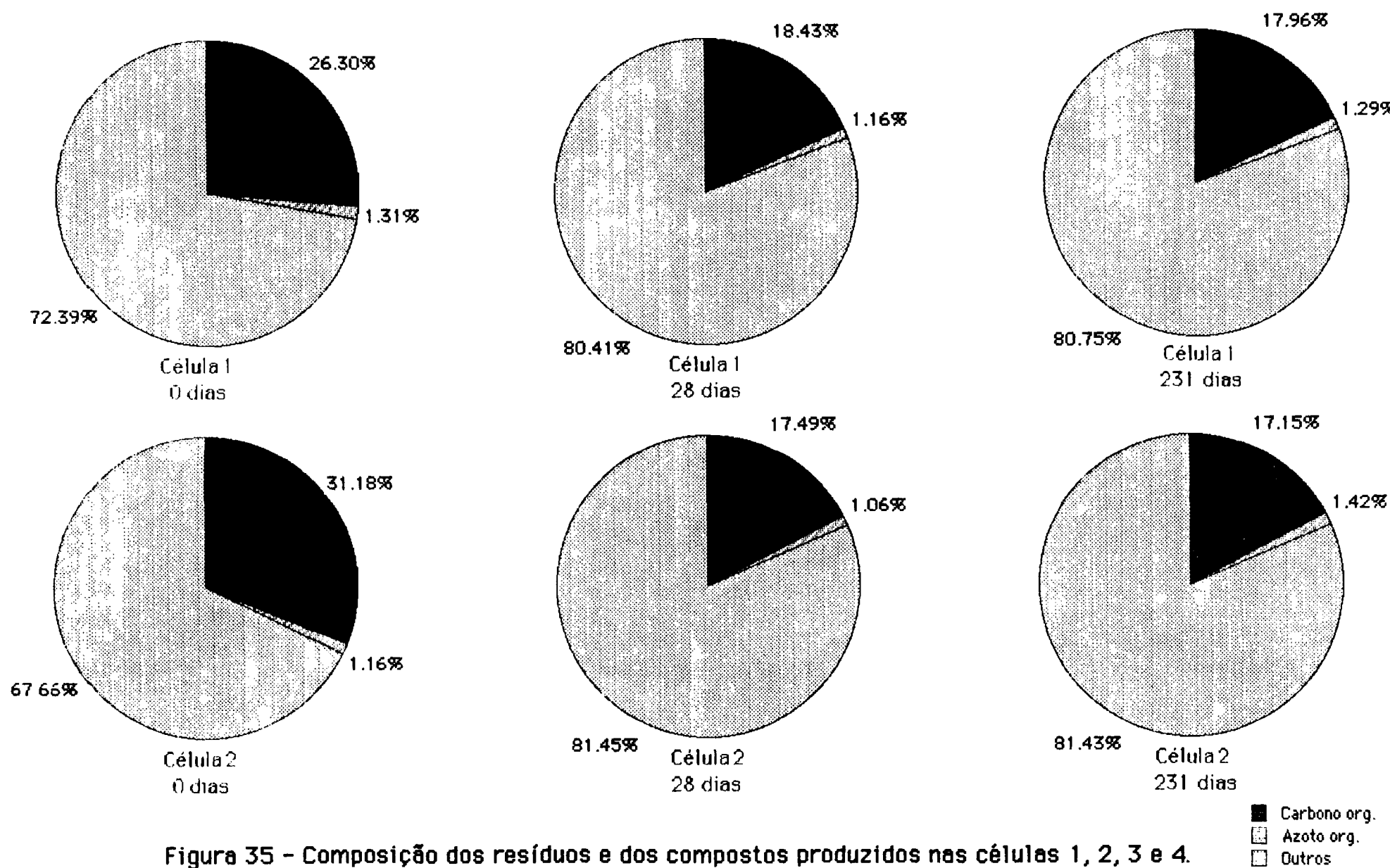


Figura 35 - Composição dos resíduos e dos compostos produzidos nas células 1, 2, 3 e 4.

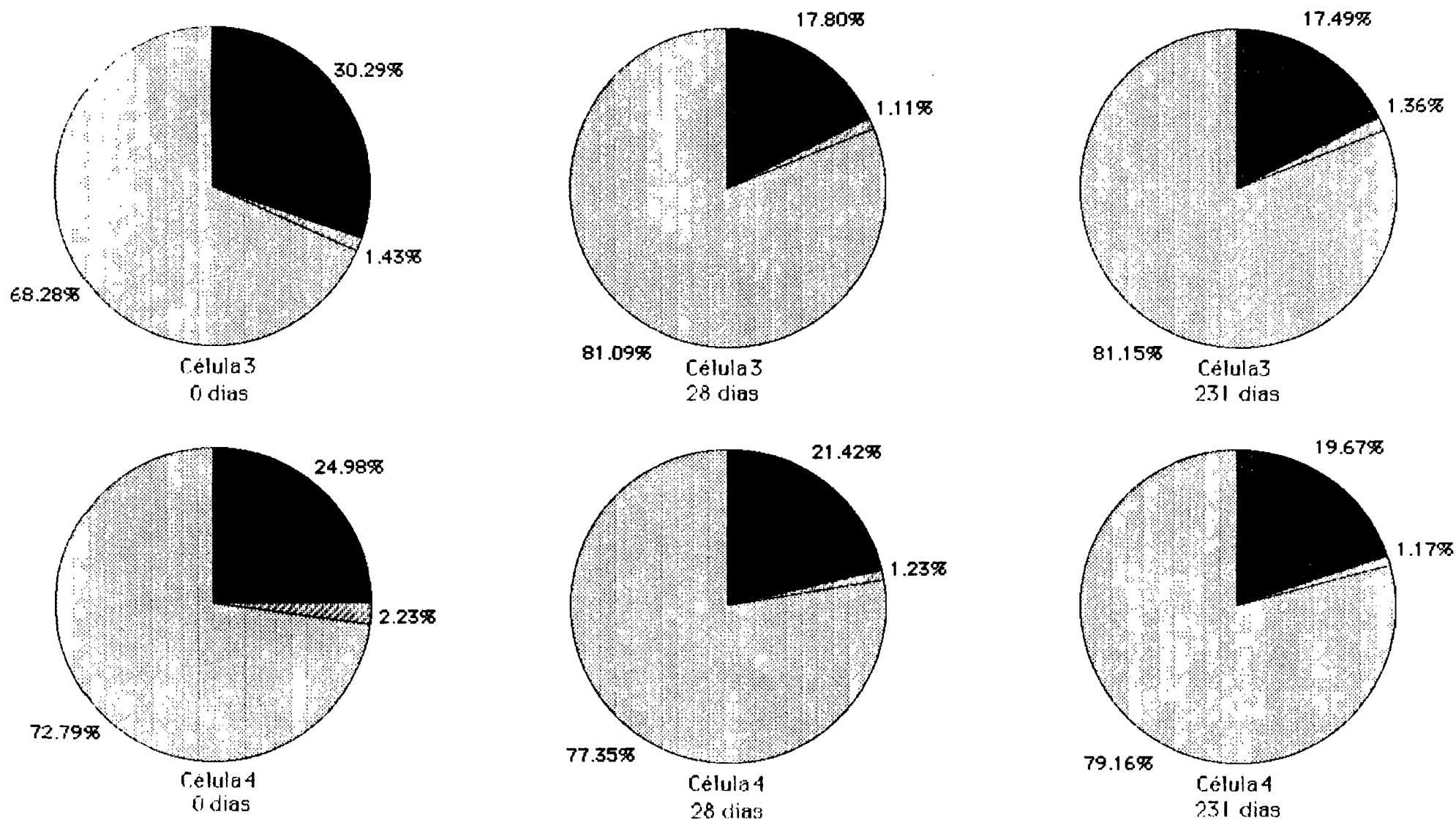


Figura 35 - Composição dos resíduos e dos compostos produzidos nas células 1, 2, 3 e 4 (continuação).

Quadro 36 - Composições calculada e observada nas células 2 , 3 e 4 após
adição de papel e/ou ureia

	Celula 1	Celula 2		Celula 3		Celula 4	
	(a)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Perda por calcinação	52.6	64.7	56.9	62.5	56.2	49.3	54.4
Carbono orgânico (Método de ANNE)	26.3	26.9	30.7	16.6	28.1	26.1	25.3
Azoto orgânico	1.31	1.16	1.11	1.43	1.39	2.23	3.03
C/N	20.1	23.2	27.7	11.6	20.2	11.7	8.35

(a) Valores observados expressos em percentagem de peso seco da amostra

(b) Valores calculados expressos em percentagem de peso seco da amostra

9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A natureza biológica da compostagem de resíduos sólidos implica que o respectivo controlo possa compreender um grande número de variáveis , cujo conhecimento é determinante para a análise do processo.

Com o objectivo de diminuir o número de variáveis envolvidas, em todas as células de fermentação, utilizaram-se condições operatórias tais que o Oxigénio , a temperatura e a humidade não impedissem o desenvolvimento do processo de compostagem, ou seja, que não constituíssem factores limitantes do mesmo.

Nessas condições, fez-se variar a relação de elementos fundamentais ao metabolismo celular (Carbono/Azoto), adicionando materiais que habitualmente integram (ou podem integrar) a composição física de resíduos sólidos : papel e ureia.

O processo de compostagem foi acompanhado experimentalmente através da evolução da perda por calcinação, dos inertes, da relação C/N, da temperatura, do pH e da humidade. Igualmente foi acompanhada a variação de peso ao longo do tempo.

A dificuldade de amostragem a partir de um material tão heterogéneo como são os resíduos sólidos e as limitações dos métodos analíticos disponíveis, por certo terão contribuído para a dispersão dos resultados obtidos (Quadro 28).

A dificuldade prática da mistura dos resíduos sólidos com o papel e/ou ureia, veio ainda agravar o referido problema da heterogeneidade (Quadro 36).

Verifica-se, assim, que os valores de perda por calcinação e de Azoto orgânico nas células 2 e 3 são superiores, relativamente aos que seria de esperar. Em relação à célula 4, constata-se que, apesar da adição de 10 Kg de ureia, os valores de perda por calcinação e de Azoto orgânico obtidos analiticamente, são menores do que os calculados.

Durante o ensaio, os resíduos foram revolidos e adicionada água, sempre que se verificou um decréscimo significativo de temperatura. Este procedimento provocava uma descida, mais ou menos acentuada, de temperatura, consoante a quantidade de água adicionada e a rapidez com que eram efectuados os revolvimentos. Na fase final, foi possível reduzir o tempo de revolvimento, limitando, deste modo, a diminuição da temperatura (Figuras 10 a 13).

A análise da evolução das temperaturas médias diárias (Figuras 14 a 17 e 19) permite identificar quatro fases distintas no processo, facto esse que está em concordância com outros trabalhos referidos na bibliografia (GRAY

e BIDDLESTONE, 1973).

Verificou-se, em qualquer das células, uma rápida subida de temperatura, mantendo-se o aumento dos valores durante cerca de 6 dias.

No início do processo de compostagem, a temperatura nas células 2, 3 e 4 era inferior à da célula 1, devido ao facto de se ter humedecido o papel e a ureia adicionados àquelas células. Apesar disto, as temperaturas iniciais são superiores a 25°C e atingiu-se a fase termofílica ao fim de um e dois dias, nas células 1 e 2 e nas células 3 e 4, respectivamente (Figura 18). O aumento da temperatura resultou, necessariamente, da intensa actividade metabólica dos microorganismos nesta fase (KEHREN e VAILLANT, 1963; AGHTM, 1985).

A análise comparativa das temperaturas das células com os valores da temperatura ambiente não é suficientemente conclusiva, para se poder admitir que esta tenha influenciado a evolução das primeiras, conforme se verifica pela Figura 18.

Após a fase inicial de elevação dos valores da temperatura, observou-se, durante cerca de 10-11 dias, uma estabilização aos valores mais elevados.

A temperatura dos resíduos desceu, depois, até atingir a temperatura ambiente. Esta fase iniciou-se praticamente na mesma altura em todas as células (16-17^º dia).

Na célula 1, contudo, houve, posteriormente, ainda uma subida, atingindo-se a temperatura mais elevada após o revolvimento dos resíduos, no 20º dia, depois do que a temperatura diminuiu.

Elevações de temperatura menores do que as anteriores puderam então observar-se nas células 1, 2 e 3, devido ao facto de materiais de mais difícil decomposição irem sendo degradados. Evoluções deste tipo foram também encontradas por vários autores citados por CRAWFORD (1983) e por WASKMAN (1939 b).

Ao fim de 28 dias, após três revolvimentos, os resíduos destas células estavam já em fase de estabilização. A resultados semelhantes chegaram SILVESTRE *et al.*, (1984), em ensaios de compostagem de resíduos sólidos na mesma unidade piloto.

Na célula 4, durante o processo de compostagem, desenvolveram-se temperaturas tão elevadas como as das outras células, mas, ao fim de 16 dias, a temperatura começou aparentemente a diminuir. Após o revolvimento no 20º dia, a temperatura não subiu como nas outras células. Pelo contrário, continuou descendo, de forma rápida, e, no 25º dia, atingia os 35°C, enquanto que nas outras células a temperatura rondava então os 50°C. Após o revolvimento no 28º dia, a temperatura subiu de novo. Porém, enquanto que, nas células 1, 2 e 3, as elevações foram seguidas de imediata descida, na célula 4 a temperatura manteve-se elevada durante mais cerca de 15 dias.

Quando a temperatura começou a descer , no 16º dia, o composto não estava em fase de estabilização, na célula 4. Uma quantidade importante de matéria orgânica estava ainda por degradar, o que justifica as temperaturas desenvolvidas.

Foi referido, anteriormente, que, quanto maior for a temperatura, maior será a taxa de degradação da matéria orgânica, até um certo limite, variável, de acordo com vários autores, entre 40 e 70°C, a partir do qual aquela taxa diminui. Os ensaios realizados não permitem, porém, encontrar relações esclarecedoras entre a temperatura (Quadro 27) e a taxa de remoção da matéria orgânica.

Na fase inicial (0-6 dias), a taxa de remoção da matéria orgânica é inferior na célula 3 relativamente à célula 1 (Figura 28), apesar da taxa de aumento da temperatura ser 6.1 e 3.1° C/dia, respectivamente. O mesmo se verifica em relação à célula 4: a taxa de remoção é menor do que a da célula 1 e a taxa de aumento da temperatura é superior (4.7° C/dia).

No período seguinte (6-13 dias), a célula 4 continua com uma taxa de remoção inferior à da célula 1 (Figura 29) e a média das temperaturas médias diárias, nesse intervalo de tempo, é de 58.4°C contra 52.0°C na célula 1. Deve registar-se que a temperatura de 58.4°C não terá sido limitante do processo de degradação, porque a taxa de remoção foi, neste período, superior em relação ao período anterior.

Verificou-se também que temperaturas acima de 60°C não se mostraram inibidoras do processo de degradação. Nas células 2 e 3, temperaturas

superiores àquela parecem coincidir com as mais elevadas taxas de remoção nelas registadas (Figura 29).

Os teores de humidade iniciais, acima dos 50% nas quatro células (Figura 21), estão dentro dos valores óptimos para a compostagem de resíduos sólidos, de acordo com PEREIRA-NETO *et al.*, 1986.

Durante o processo de compostagem houve perdas de água por evaporação, principalmente devidas à actividade dos microorganismos (FINSTEIN *et al.*, 1983) e à temperatura ambiente elevada (SILVESTRE *et al.*, 1984). A temperatura média diária variou, com efeito, entre 20.5°C e 30.8°C.

Os teores de humidade verificados ao longo do processo não devem ter constituído factores limitantes do mesmo, uma vez que a evolução das temperaturas foi idêntica à que na bibliografia é comumente indicada (STENTIFORD *et al.*, 1985).

No início da compostagem, as percentagens de humidade foram semelhantes nas células 1, 2, 3 e 4 (Figura 21). Ao fim de 28 dias, as percentagens eram idênticas nas células 1, 2 e 3 (cerca de 26%), sendo superior na célula 4 (34%). Considerando, porém, os totais de água adicionada nos três primeiros revolvimentos (Quadro 17) e tomando em atenção os teores de remoção de matéria orgânica no período de 0 - 28 dias, (Figura 32) poder-se-á admitir que existe uma relação entre a taxa de degradação e a evolução da humidade.

Isto está de acordo com CARDENAS (1977), que aconselha a determinação

de humidade como método para avaliar a decomposição dos resíduos sólidos : uma diminuição de humidade indica a elevação da remoção de matéria orgânica.

Os 34% de humidade verificados na célula 4, no 28º dia , mostraram ser suficientes para um novo arranque do processo de degradação. Contudo, a humidade dever-se-á ter tornado limitante do processo cerca do 43º dia, o que justificará a descida brusca da temperatura registada nesta altura (Figura 17).

Os valores de pH obtidos (Figura 20), têm um significado relativo, porque foram determinados em amostras secas e não húmidas, como preconiza o método respectivo (KEHREN, 1981). Efectivamente, as análises realizadas periodicamente, na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos de Lisboa, indicam que o composto fresco tem um pH igual a 6.5 (CESL, 1978). Nas células 1,2 e 3, o pH inicial foi de 6.25, 6.26 e 6.31, respectivamente.

Segundo GOTAAS (1959), quando o pH inicial dos resíduos se situa entre 6 e 7, decresce ligeiramente nos 2 ou 3 primeiros dias de compostagem, aumentando depois até à zona neutra, devido à decomposição das proteínas e à libertação de Amónio. Aquele decréscimo poderá não se ter registado nas células 1, 2 e 3, porque a segunda determinação só foi feita após seis dias de compostagem.

A adição de ureia provoca, como é sabido, o aumento do pH. Efectivamente, o pH inicial da célula 4 foi superior ao das outras células. Na célula 3, não se nota, contudo, o efeito da adição de ureia.

Embora na compostagem de resíduos sólidos o pH não seja , de uma forma geral, factor limitante da mesma (GRAY *et al.*, 1973 ; GOTAAS, 1959; HAUG, 1980; RABBANI *et al.* , 1983), a sua determinação , no ensaio realizado , revestia-se de especial importância , devido à adição de ureia. A ureia hidrolisa-se rapidamente, libertando Amoníaco, que provoca o aumento do pH. Ora, um valor de pH na zona alcalina favorece a volatilização do Amoníaco resultante daquela hidrólise e da decomposição das proteínas (FAURIE e BARDIN, 1979 a, b; LOFTIS e SCARBROOK, 1969).

No período inicial de seis dias , as taxas de remoção da matéria orgânica mais elevadas verificaram-se nas células 1 e 2 (Figura 28). O papel que foi adicionado à célula 2 parece pois não ter sido significativamente atacado pelos microorganismos, nesta fase.

No mesmo período de tempo, as taxas de remoção nas células 3 e 4 foram mais reduzidas. Nestas células , a adição de ureia poderá ter prejudicado o processo de degradação, visto que a respectiva hidrólise (FAURIE e BARDIN, 1979 a), deverá ter originado elevadas concentrações de Amoníaco, eventualmente responsáveis por aquela inibição parcial. GOLUEKE (1977 b) , verificou exactamente que, se o Azoto orgânico estiver presente em quantidade excessiva, pode formar-se Amoníaco em quantidades suficientes para provocar toxicidade na população microbiana.

POINCELOT (1977) refere que, quando a ureia é adicionada aos resíduos com o objectivo de baixar a relação C/N, as bactérias produtoras de urease metabolizam toda a ureia em oito dias e grande quantidade de Amoníaco é

volatizada . A volatilização do Amoníaco terá sido favorecida pela elevação da temperatura verificada neste período (Figura 19) (FAURIE e BARDIN, 1979 b). Acresce ainda o facto da actividade das bactérias nitrificantes ser inibida por temperaturas e concentrações de Amoníaco elevadas (BERTOLDI *et al.*, 1982).

No período entre 6 - 13 dias, é de salientar que, na célula 2, a taxa de remoção da matéria orgânica atingiu o valor máximo observado durante o processo de compostagem (Figura 29). Admite-se que este aumento se justifique pela distribuição mais homogénea de microorganismos na massa de resíduos, favorecida pelo revolvimento efectuado aos seis dias. KEHREN (1981), refere a importância da mistura na distribuição dos microorganismos , influenciando a intensidade da degradação.

Por outro lado, a célula 3 apresentou , durante este período, uma taxa de remoção máxima (Figura 29) , intermédia das que se verificaram nas células 1 e 2 , o que se presume ser o resultado da estabilização do teor de Azoto orgânico, uma vez que a maior parte da ureia ter-se-á já hidrolisado, sob a forma de Amoníaco, e volatizado (Figura 34).

A quantidade de ureia adicionada à célula 4 foi bastante superior à adicionada à célula 3, o que deverá justificar a maior inibição do processo de compostagem, que se vai desenrolar , em geral, com taxas de remoção inferiores às das outras células (Figuras 28 a 31).

A remoção da matéria orgânica verificada foi, porém, mesmo assim, suficiente para explicar a evolução da temperatura verificada (Figuras 17

e 19).

Como se pode observar na Figura 34, o teor de Azoto orgânico apenas atingiu valores próximos dos verificados nas outras células aos 20 dias , o que poderá explicar a intensificação da degradação da matéria orgânica e a elevação da temperatura após o 28º dia (Figura 17 e 19).

A remoção da matéria orgânica , após os 28 dias do ensaio, foi de 42%, 39%, 31% e 20% nas células 2, 3, 1 e 4, respectivamente (Figura 32). Segundo KEHREN e VAILLANT (1967), a remoção de matéria orgânica atinge pelo menos 25% da matéria seca inicial, num processo de compostagem bem sucedido. O processo nas células 1, 2 e 3 pode, portanto, considerar-se dentro dos valores normais.

A relação C/N inicial na célula 1 (Figura 33) foi inferior aos valores considerados óptimos (em média 30/1, segundo POINCELOT, 1977). A adição de papel aumentou essa relação para 27/1, na célula 2, o que favoreceu a remoção da matéria orgânica. Na célula 1, o Carbono terá sido, pois, factor limitante do processo de degradação.

O papel adicionado , apesar de conter 81% de celulose (Quadro 12), foi facilmente degradado. Num estudo semelhante, mas utilizando papel de impressão , (SILVEIRA et al ., 1984) constatou-se que o papel só era atacado ao fim de 30 dias. A diferença da degradabilidade observada pode ser devida aos tratamentos a que os papéis são submetidos, durante o processo de fabrico, salientando-se ainda a diferença de estrutura (GOSSET *et al.*, referido por HAUG, 1980). No papel absorvente, as fibras

têm diferentes orientações, aumentando a acessibilidade da celulose. POINCELOT (1977), refere, a propósito, que, embora muitos microrganismos tenham capacidade para degradar a celulose, esta capacidade é diminuída quando se trata de papel cujas fibras têm uma orientação preferencial, como é o caso do papel utilizado para impressão.

A diminuição da relação C/N de 20/1, na célula 1, para 11/1, na célula 4 (Figura 33), justificada pela adição de ureia, terá agravado o facto dos resíduos se apresentarem carentes em Carbono. Por outro lado, a inibição parcial do processo de degradação, devida à presença de Anoníaco, justifica uma remoção de matéria orgânica menor na célula 4 do que na 1. Assim, a adição de ureia aos resíduos sólidos em compostagem, aconselhada por GOLUEKE (1981), só terá realmente justificação quando a relação C/N atingir valores muito elevados.

As quantidades de papel e ureia adicionados, simultaneamente, à célula 3, não permitiram que a relação inicial de 20/1 se alterasse, significativamente (Figura 33). O facto de se pretender contrariar um aumento da relação C/N, através da adição de ureia, não beneficiou, neste caso, o processo, dado que a quantidade de papel adicionada não foi suficiente para impedir que o Carbono deixasse de ser factor limitante. Isto poderá justificar a perda de Azoto orgânico verificada nesta célula e a remoção de matéria orgânica registada, superior à da célula 1 (Figura 32).

O aumento da relação C/N para 27/1, pela adição de uma fonte de Carbono facilmente degradável, não parece ter influenciado a duração do processo

de compostagem, enquanto que a diminuição da relação C/N, pela adição de ureia , conduziu a um aumento do tempo necessário à compostagem (Figura 19).

A diminuição , relativamente lenta, da temperatura na fase final do processo de compostagem (Figuras 14 a 16) (GOLUEKE *et al.* , 1980) e a evolução gradual da relação C/N, obtendo-se valores da ordem dos 16/1 (Figura 33) (COSSU *et al.* , 1984) sugerem que, ao fim de 28 dias, o composto produzido nas células 1, 2 e 3 poderia ser utilizado na Agricultura, sem riscos de induzir desequilíbrios nutricionais. Estes compostos têm uma qualidade semelhante, a avaliar pela sua composição, quando terminou o ensaio (Figura 35).

O composto produzido na célula 4, ao fim de 28 dias, não estava estabilizado, a avaliar pela rápida descida da temperatura observada entre 20 e 28 dias e pela subsequente elevação (Figuras 17 e 19).

A relação C/N mostrou ser uma forma dúbia de avaliar a estabilidade do composto, quando utilizada em valor absoluto. Assim, ao fim de 28 dias, a relação C/N do composto da célula 4 era 17.4/1 (Quadro 35) e o composto não estava estabilizado, embora produtos com uma relação C/N entre 20 e 15/1 sejam normalmente considerados estáveis (KEHREN, 1985).

A degradação posterior da matéria orgânica , importante relativamente às outras células (Quadro 32), foi interrompida e o composto obtido apresentava um teor em Carbono orgânico superior ao da célula 1 (Figura 35), o que mostra que não atingiu o mesmo grau de estabilização.

10. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no ensaio sugerem que o aumento da relação Carbono/Azoto de 20/1, para 27/1 não provocou mudanças significativas, nem no tempo necessário à compostagem, nem na qualidade do composto produzido. Contudo, a diminuição daquela relação, aumentou o tempo de compostagem e o composto obtido apresentava um grau de estabilidade inferior ao das outras situações estudadas.

Os resultados sugerem, ainda, que o Carbono terá sido um factor limitante do processo de degradação e que a ureia inibiu aquele processo em função da sua concentração inicial.

Recorrendo a diferentes parâmetros analíticos não foi ainda completamente esclarecido o modo como o Carbono terá sido factor limitante da bioconversão operada. Contamos continuar a estudar este problema de forma a conseguir controlar o processo e optimizar a produção de composto a partir dos resíduos sólidos disponíveis. O significado deste material na correcção da estrutura dos solos e da sua capacidade de retenção de água utilizável pelas plantas, justificam segundo cremos a escolha deste tema para futuras investigações, dada a ligação que assim se pode realizar entre a Engenharia Sanitária e a Engenharia Agronómica, e dos seus impactes na qualidade de vida das populações.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

A.G.H.T.M. (1977) - *Técnicas de higiene urbana*. Instituto de Estudios de Administracion Local, Madrid.

A.G.H.T.M. (1985) - *Les résidus urbains*. 2^{ème} ed. , vol. 1 et 2, Lavoisier, Paris.

ANNE P. (1945) - Sur le dosage rapide du Carbone organique des sols. *Annales Agronomiques*, 15, p. 161-172.

ASHBOLT, N.J; LINE, M. A. (1982) - A bench-scale system to study the composting of organic wastes. *Journal of Environment Quality*, 11 (3), p. 405-408.

BENISTANT, D. (1978) - *Caracterisation de la maturité des composts d'ordures ménagères*. Mémoire. E.N.I.T.A. - I.N.R.A., Dijon.

BERTOLDI, M.; CITERNESI, U.; GRISELLI, M. (1980) - Bulking agents in sludge composting. *Compost Science/Land Utilization*, 21 (1), p. 32-35.

BERTOLDI, M.; ZUCCONI, F. (1980) - Microbiologia della trasformazione dei rifiuti solidi urbani in compost e loro utilizzazione in agricoltura. *Ingegneria ambientale*, 9 (3), p. 209-216.

BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A.; ZUCCONI, F. (1982) - Comparison of three windrow compost systems. *BioCycle*, 23 (2), p. 46-50.

BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. (1983) - The biology of composting : a review. *Waste Management & Research*, 1 (2), p. 157-176.

BISHOP, P.L.; GODFREY, C. (1983) - Nitrogen transformations during sludge composting. *BioCycle*, 24 (4), p. 34-39

CAMPOS, L.S.; SANTOS, J.Q. (1986) - Utilização dos resíduos sólidos urbanos como fertilizantes. *Encontro Nacional de Saneamento Básico/86* , A.P.E.S.B., Lisboa.

CARDENAS, R.R. (1977) - Rapid moisture determination in compost for process control. *Compost Science*, 18 (1), p. 14-15.

C.E.M.A.G.R.E.F.-A.N.R.E.D. (1982) - *Les indésirables dans les composts urbains*. Rapport final. Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Rennes.

C.E.S.L. (1978) - *Projecto de plano a curto prazo para o lixo de Lisboa*. Consultores de Engenharia Sanitária Lda, Lisboa.

CHROMETZKA, P. (1968) - Détermination de la consommation d'oxygène des composts en voie de maturation. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 37, p. 253-256.

COSSU, R.; MARFORIO, R.; NURIZZO, C. (1984) - Trasformazione in compost: processo, tecnologie ed aspetti gestionali. *Ingegneria Ambientale*, 13 (7-8), p. 369-390.

CRAWFORD, J.H. (1983) - Composting of agricultural wastes - a review. *Process Biochemistry*, 18 (1), p. 14-18.

DeVLEESCHAUWER, D.; VERDONCK, O.; VAN ASSCHE, P.(1981) - Phytotoxicity of refuse compost. *BioCycle*, 22 (1), p. 44-46.

ECCLES, C. ; STENTIFORD, E.I. (1987) - Microcomputers monitor static file performance. *BioCycle*, 28 (1), p. 42-45.

E.P.A. (1985) - Composting of municipal wastewater sludges. *Seminar publication*. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati.

FARKASDI, G. (1963) - Essais sur l'action d'apports de différentes substances dans le compostage en tas de gadoues et de boues d'épuration. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 19, p. 17-22.

FAURIE, G.; BARDIN, R. (1979, a) - La volatilisation de l'ammoniac. I - Influence de la nature du sol et des composés azotés. *Annales Agronomiques*, 30 (4), p. 363-385.

FAURIE, G.; BARDIN, R. (1979, b) - La volatilisation de l'ammoniac. II - Influence des facteurs climatiques et du couvert végétal . *Annales Agronomiques*, 30 (5), p. 401-414.

FERNANDES, A.P. (1982) - O sector dos resíduos urbanos. *Direcção - Geração de Energia*, Lisboa.

FINSTEIN, M. S.; MILLER, F.C.; STROM, P.F.; MacGREGOR, S.T.; PSARIANOS, K.M. (1983) - Composting ecosystem management for waste treatment. *Bio/Technology*, 1 (4), p. 347-353.

FINSTEIN, M. S.; MILLER, F.C.; STROM, P.F. (1986) - Monitoring and evaluating composting process performance. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 58 (4), p. 272-278.

GERMON, J. C.; BENISTANT, D.; NICOLARDOT, B.; MAITRE, J. P. (1980) - Vers une technique simple pour déterminer la maturation des composts. *Compost Information*, 2, 2^{ème} trimestre, p. 10-12.

GIROD, P. (1982) - *Récupération et élimination des déchets*. Le Moniteur, Paris.

GLAUB, J.C.; DIAZ, L. F.; SAVAGE, G.M. (1984) - Preparing municipal solid waste for composting. *BioCycle*, 25 (8), p. 32-36.

GODDEN, b. (1986) - Les tests enzymatiques et chimiques de maturité des composts. *Compost Information*, 22, p. 20-24.

GOLUEKE, C.G. (1974) - Biological reactions in solid waste recovery systems. *Compost Science*, 15 (3), p. 2-6.

GOLUEKE, C. G. (1976) - Composting: a review of rational principles and public health. *Compost Science*, 17 (3) , p. 11-15.

GOLUEKE, C. G. (1977 a) - The biological approach to solid waste management. *Compost Science*, 18 (4) , p. 4-9.

GOLUEKE, C. G. (1977 b) - *Biological reclamation of solid wastes*. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania.

GOLUEKE, C. G.; LAFRENZ, D.; CHASER, B.; DIAZ, L.F. (1980) - Composting combined refuse and sewage sludge. *Compost Science/Land Utilization*, 21 (5), p. 42-48.

GOLUEKE, C. G. (1981) - Principles of biological resource recovery. *BioCycle*, 22 (4) , p. 36-40

GOTAAS, H.B.(1959) - *Compostage et assainissement*. OMS, Genève.

GRAY, K. R. ; SHERMAN, K.; BIDDLESTONE, A. J. (1971 a) - A review of composting - part 1. *Process Biochemistry*, 6 (6) , p. 32-36.

GRAY, K. R. ; SHERMAN, K.; BIDDLESTONE, A. J. (1971 b) - Review of composting - part 2. *Process Biochemistry*, 6 (10) , p. 22-28.

GRAY, K. R. ; BIDDLESTONE, A. J. (1973) - Composting process parameters. *The Chemical Engineer*, 2, p. 71-76.

GRAY, K. R. ; BIDDLESTONE, A. J. ; CLARK, R. (1973) - Review of composting - part 3. *Process Biochemistry*, 8 (10) , p. 11-15.

Grupo de Trabalho sobre Resíduos (1982) - Resíduos sólidos urbanos. Vol.V, C.N.A., Lisboa.

HAUG, R.T. (1980) - *Compost engineering - principles and practice*. Ann Arbor Science, Michigan.

HIRAI, M.F.; CHANYASAK; KUBOTA, H. (1983) - A standard measurement for compost maturity. *BioCycle*, 24 (6), p. 54-57.

HIRSCHHEYDT, A. (1977) - Définition du terme "maturité" en matière de compost de gadoues. *Bull. Inf. I.S.W.A.*, 21, p. 5.

HOLMES, J. R. (1981) - *Refuse recycling and recovery*. John Wiley & Sons, New York.

HORELLOU, J. (1982-83) - *Méthode de détermination de la teneur en matière organique des composts d'ordures ménagères à partir de leur teneur en matières inertes*. Mémoire. E.N.S.P., Rennes.

HORSTMANN, M.O. (1961) - Détermination du degré de putréfaction du compost. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 13, p. 7-16.

KEHREN, L.; VAILLANT, J. (1963) - Les méthodes de traitement des ordures ménagères et l'intérêt du compostage aerobie en milieu tropical. *Bull. Inf. Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Autre-Mer*, Paris, 1^{er} trimestre.

KEHREN, L. (1981) - Élimination et traitement des déchets solides. 2^{ème} partie. *Curso de Especialização em Engenharia Sanitária*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa.

KEHREN, L. (1985) - Traitements par voie biologique des résidus solides. *Curso de Especialização em Engenharia Sanitária*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa.

KELLER, P. (1960) - Le degré de maturité du terreau de gadoues ou de gadoues et boues. Sa signification et les méthodes de détermination. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 10, p. 6-17.

LOFTIS, J. R.; SCARSBROOK, C.E. (1969) - Ammonia volatilization from ratios of formamide and urea solutions in soils. *Agronomy Journal*, 61 (5), p. 725-727.

MacGREGOR, S.T.; MILLER, F.C.; PSARIANOS, K. M.; FINSTEIN, M. S. (1981) - Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 41(6), p. 1321-1330.

McKINLEY, V. L.; VESTAL, J. R. (1984) - Biokinetic analyses of adaptation and succession: microbial activity in composting municipal sewage sludge *Applied and Environmental Microbiology*, 47 (5), p. 933-941.

McKINLEY, V. L.; VESTAL, J. R. (1985) - Physical and chemical correlates of microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Applied Environmental Microbiology*, 50(6), p. 1395-1403.

McKINLEY, V. L.; VESTAL, J. R.; ERALP, A. E. (1985 a) - Microbial activity in composting. Part I. *BioCycle*, 26 (6), p. 39-43.

McKINLEY, V. L.; VESTAL, J. R.; ERALP, A. E. (1985 b) - Microbial activity in composting. Part II. *BioCycle*, 26 (7), p. 47-50.

MOOIJMAN, K. A. ; LUSTENHOUWER, H. W. A. (1987) - Maturity assessment in food waste compost. *BioCycle*, 28 (2), p. 34-35.

MOREL, J. L. (1977) - *Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduelles dans le sol*. Thèse de Docteur Ingénieur . Institut National Polytechnique de Lorraine, Université de Nancy I.

NAKASAKI, K.; SHODA, M.; KUBOTA, H. (1985) - Effect of temperature on composting of sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*, 50 (6), p. 1526-1530.

NICOLARDOT, B. (1979) - *Valorisation agricole des composts d'ordures ménagères*. Mémoire. E.N.I.T.A. - I.N.R.A., Dijon.

NICOLARDOT, B.; CHAUSSOD, R.; MOREL, J.L.; GUCKERT, A.; BENISTANT, D.; CATROUX, G. & GERMON, J.C. (1986) - Appréciation simple de la maturité des composts urbains en relation avec leurs effets sur la production végétale. *Agronomie*, 6 (9), p. 819-827.

NP - 2201 (1984) - Projecto de Norma Portuguesa - Qualidade da água. Vocabulário - Parte II.

OBRIST, W. (1963) - Essais sur l'action des substances additionnelles introduites dans le matériel composté en tas (résidus domestiques broyés). *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 19, p. 23-29.

OBRIST, W. (1965) - Activité enzymatique et processus de décomposition se déroulant dans les gadoues en putréfaction; nouvelle méthode proposée pour la détermination du degré de putréfaction. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 24, p. 29-37.

OLIVEIRA, J.S. (1986) - Tecnologias de baixo custo energético na defesa do meio ambiente. *Seminário sobre Autarquias, Ambiente e Ordenamento do Território*, D.C.E.A.-S.E.A.R.N.-S.E.A.L.O.T., Monte da Caparica, Portugal.

PEREIRA-NETO, J.T.; MARA, D.D.; STENTIFORD, E.I. (1986) - Compostagem do lixo urbano e lamas dos esgotos domésticos: uma análise para aplicação em áreas carentes ou industrializadas. *Encontro Nacional de Saneamento Básico/86*, A.P.E.S.B., Lisboa.

POINCELOT, R.P. (1977) - The biochemistry of composting. *National Conference on Composting of Municipal Residues and Sludges*, Rockville, Maryland.

RABBANI, K.R.; JINDAL, R.; KUBOTA, H. (1983) - Composting of domestic refuse. *Environmental Sanitation Reviews*, 10-11, p. 1-107.

RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; PERA, A.; BERTOLDI, M. (1986) - Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Management & Research*, 4 (4), p. 387-396.

ROLETTO, E.; BARBERIS, R.; CONSIGLIO, M.; JODICE, R. (1985) - Chemical parameters for evaluating compost maturity. *BioCycle*, 26 (2), p. 46-47.

ROLLE, G.; ORSANIC, B. (1964) - Nouvelle méthode pour la détermination des substances organiques décomposables et résistantes présentes dans les gadoues et dans les composts de gadoues. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, 21, p.3-12.

ROUSSEL, M. (1974-75) - *Etude physico-chimique des composts* Mémoire. E.N.S.P., Rennes.

SANTARENO, R. (1983) - Aterros sanitários em Portugal. *1º Congresso Nacional de Resíduos Sólidos*, A.P.E.S.B., Lisboa, p. 443-453.

SILVEIRA, A.; SILVESTRE, S.; KEHREN, L.; OLIVEIRA, J.S. (1984) - Influência da relação C/N do lixo na evolução do processo de compostagem. Adição de Carbono. *Jornadas sobre Secreção Vegetal e Biotecnologia*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

SILVESTRE, S.S.; KEHREN, L.; LOURENÇO, P.; REBELO, S.; OLIVEIRA, J.S. (1984) - Evolução da temperatura e da humidade num processo de compostagem lenta. *Informação A.P.E.S.B.*, 22.

SOLTNER, D. (1983) - *Les bases de la production végétale* 12^{ème} ed., Tome I, Collection Sciences et Techniques Agricoles, Les Clos Loulle, Angers.

STENTIFORD, M.A.; MECH, M.I.; TAYLOR, P.I.; LETON, T.G.; MARA, D.D. (1985) - Forced aeration of composting of domestic refuse and sewage sludge. *Water Pollution Control*, 84 (1), p. 25-32.

SULLER, D.J.; FINSTEIN, M.S. (1977) - Effect of temperature, aeration and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Applied and Environmental Microbiology*, 33 (2), p. 345-350.

TALASHILKAR, S.C.; VIMAL, O.P. (1984) - From nutrient to high-grade fertilizer. *BioCycle*, 25 (2), p. 50-51.

TEPE, W.; LEIDENFROST, E.; DARLOWSKY, A. (1966) - Application de méthodes rapides d'analyse des composts de gadoues et boues en vue de contrôler le déroulement de la putréfaction. *Bull. Inf. G.I.R.O.M.*, Zurich, 28, p. 86-92.

WARTAK, P. (1983) - *Analyses physico-chimiques dans les composts urbaines* Mémoires. C.E.M.A.G.R.E.F., Rennes.

WASKMAN, S.A.; UMBREIT, W.W.; CORDON, T.C. (1939 a) - Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure. *Soil Science*, 47 (1), p.83-113.

WASKMAN, S.A.; UMBREIT, W.W.; CORDON, T.C. (1939 b) - Thermophilic actinomycetes and fungi in soils and in composts. *Soil Science*, 47(1), p. 37-61.

ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MONACO, A.; BERTOLDI, M. (1981 a) - Biological evaluation of compost maturity. *BioCycle*, 22 (4), p. 27-29.

ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MONACO, A.; BERTOLDI, M. (1981 b) - Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22 (2), p. 54-57.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. (1982) - Utilizzazione in agricoltura dei prodotti di trasformazione dei residui solidi urbani. *Ingegneria Ambientale*, 11 (2), p.110-117.

ANEXO 1

Determinação de inertes Método CEMAGREF-ANRED

Procedimento prático

Num recipiente de 10 litros, pesar cerca de 1 kg de composto. Adicionar uma quantidade de água de javel suficiente para cobrir o composto e deixar actuar até à destruição da matéria orgânica.

Lavar abundantemente o produto com água quente num crivo de malha de 2 mm assente num alguidar, de modo a recuperar as partículas com dimensão inferior a 2 mm (designadas por finos).

Em caso de destruição incompleta da matéria orgânica, renovar a água de javel e repetir o procedimento.

Colocar o material retido no crivo num recipiente. Encher com água. Recuperar a totalidade dos produtos flutuantes, que são fundamentalmente constituídos por plásticos do tipo polietileno e poliestireno expansível.

Sobre a fracção com densidade maior que a da água deitar uma solução de Cloreto de Cálcio saturada. Recuperar o sobrenadante e lavá-lo com água quente para eliminar o Cloreto de Cálcio. Esta fracção é constituída principalmente por matérias plásticas do tipo polietileno denso,

poliestireno e fibras textéis. Do mesmo modo, lavar a fracção com densidade superior à da solução de Cloreto de Cálcio saturada. Esta fracção é constituída por vidros, pedras, ossos, metais. Secar as 4 fracções na estufa a 75°C até peso constante.

A análise granulométrica facilita a separação destas fracções.

Os pedaços de madeira não são destruídos pela água de javel. São facilmente separados na análise granulométrica e constituem um grupo à parte.

A separação dos metais ferrosos dos vidros, pedras e ossos é feita usando um íman.

As fracções separadas são pesadas e os resultados são expressos em percentagem de peso seco. Previamente, determina-se a humidade da amostra de composto. A humidade a 75-80°C é igual a 99% do valor a 105°C.

ANEXO 2

Determinação do Carbono orgânico Método de ANNE

Procedimento prático

Colocar 0.1 g de composto triturado e seco num Erlenmeyer de pirex de 150 ml. Juntar 20 ml de uma solução de Dicromato de Potássio a 8% e 30 ml de Ácido Sulfúrico concentrado. Adaptar um refrigerador ao Erlenmeyer e manter a mistura em ebulição lenta durante 5 minutos. Deixar arrefecer ao ar durante 15 minutos. Completar o volume a 250 ml com água destilada. Tomar uma alíquota de 10 ml. Diluir em 200 ml de água destilada num Erlenmeyer de boca larga. Adicionar 200 ml de uma solução de Fluoreto de Sódio 7.5 g/l e 3-5 gotas de Difenilamina. Titular com uma solução de Sal de Mohr 0.2N. A viragem é de azul escuro para azul esverdeado.

$$C = \frac{(Y-X) N \cdot 7.5}{P}$$

C - Carbono orgânico expresso em percentagem da matéria seca.

Y - Volume de Sal de Mohr gasto no branco expresso em mililitros.

X - Volume de Sal de Mohr gasto na amostra expresso em mililitros.

N - Normalidade do Sal de Mohr.

P - Peso seco da amostra expresso em gramas.

ANEXO 3

Determinação do Carbono orgânico

Método de ROLLE e ORSANIC

Procedimento prático

A determinação é feita sobre uma amostra de 0.1 g de composto triturado e seco, tratada com 30 ml de uma solução de Dicromato de Potássio 2N e 30 ml de Ácido Sulfúrico concentrado.

Agitar a mistura e deixar que a oxidação prossiga durante uma hora à temperatura da reacção. Completar o volume a 250 ml com água destilada. Tomar uma aliquota de 10 ml. Diluir em 200 ml de água destilada em Erlenmeyer de boca larga. Adicionar 200 ml de uma solução de Fluoreto de Sódio 7.5 g/l e 3 - 5 gotas de Difenilamina. Titular com uma solução de Sal de Mohr 0.2N. A viragem é de azul escuro para azul esverdeado.

$$C = (Y-X) N \frac{7.5}{P}$$

C - Carbono orgânico expresso em percentagem da matéria seca.

Y - Volume de Sal de Mohr gasto no branco expresso em mililitros.

X - Volume de Sal de Mohr gasto na amostra expresso em mililitros.

N - Normalidade do Sal de Mohr.

P - Peso seco da amostra expresso em gramas.

ANEXO 4

Determinação da celulose bruta

Procedimento prático

Pesar rigorosamente cerca de 0.5 g de matéria seca num Erlenmeyer de pirex de 150 ml de boca esmerilada. Juntar 50 ml de mistura ácida (90 ml de HNO_3 concentrado completando a 1 l com CH_3COOH a 80 %).

Adaptar condensador e ferver durante 25 minutos, agitando frequentemente.

Desmontar o condensador e filtrar a quente sob sucção através de um cadinho de GOOSH (G3), previamente tarado. A sucção é obtida usando uma trompa de água.

O resíduo que permanece no filtro é lavado primeiramente com 5 ml de mistura ácida quente e depois com água destilada quente até que o filtrado apresente reacção neutra.

Lava-se depois com álcool a 95°, por diversas vezes e finalmente com éter.

O cadinho é seco na estufa a 100 – 105 °C durante uma noite.

Transfere-se para o exsicador e pesa-se rigorosamente, uma vez

arrefecido. Volta de novo à estufa por duas horas após o que se deixa arrefecer no exsicador e se pesa com rigor. Uma vez obtido um peso constante dá-se por terminado o processo.

O peso da celulose será igual a:

$$\text{Peso da celulose bruta} = \text{Peso (cadinho + celulose bruta)} - \text{Peso cadinho}$$

A percentagem de celulose bruta, designada por CB será igual a:

$$\% \text{ CB} = \frac{\text{Peso de celulose bruta} \times 100}{\text{Peso da amostra}}$$

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 1

Peso húmido: 1845.3

Tempo (dias) – 0

Humidade: 51.40

Peso seco: 896.8

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	19.21	5.08	---	24.29	2.71
5 redonda a 12.5 quadrada	2.82	167.60	3.22	1.95	175.59	19.58
2 a 5 redonda	3.36	66.64	← 0.66 →		70.66	7.88
< 2 redonda	← 83.67 →				83.67	9.33
Inertes Totais					354.21	39.50

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 1

Peso húmido: 1993.3

Tempo (dias) – 6

Humidade: 44.65

Peso seco: 1103.3

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada		28.41	---	---	28.41	2.58
5 redonda a 12.5 quadrada	8.10	238.85	5.60	1.36	253.91	23.01
2 a 5 redonda	3.96	57.17	---	---	61.13	5.54
< 2 redonda	← 155.33 →				155.33	14.08
Inertes Totais					498.78	45.21

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 1

Peso húmido: 1737.6

Tempo (dias) - 13

Humidade: 40.35

Peso seco: 1036.5

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	14.68	40.82	0.21	---	55.71	5.37
5 redonda a 12.5 quadrada	5.37	207.60	6.74	2.22	221.93	21.41
2 a 5 redonda	2.70	74.85	← 1.61 →		79.16	7.64
< 2 redonda	← 129.64 →				129.64	12.51
Inertes Totais					486.44	46.94

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 1

Peso húmido: 1847.3

Tempo (dias) - 20

Humidade: 34.05

Peso seco: 1218.29

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	5.01	56.51	0.69	0.72	62.93	5.17
5 redonda a 12.5 quadrada	6.07	284.40	9.90	0.89	301.26	24.73
2 a 5 redonda	3.89	92.81	0.64		97.34	7.99
< 2 redonda	132.23				132.23	10.85
Inertes Totais					593.76	48.74

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 1

Peso húmido: 1860.9

Tempo (dias) - 28

Humidade: 25.45

Peso seco: 1387.30

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	63.44	0.16	0.21	63.81	4.60
5 redonda a 12.5 quadrada	7.93	371.10	5.90	1.58	386.51	27.86
2 a 5 redonda	4.53	132.88	← 0.72 →		138.13	9.96
< 2 redonda	← 180.40 →				180.40	13.00
Inertes Totais					768.85	55.42

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 1

Peso húmido: 1444.3

Tempo (dias) - 28

Humidade: 25.45

Peso seco: 1076.73

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	4.82	35.19	3.38	---	43.38	4.03
5 redonda a 12.5 quadrada	5.07	264.6	3.55	1.69	274.91	25.53
2 a 5 redonda	2.91	103.41	← 0.50 →		106.82	9.92
< 2 redonda	← 225.30 →				225.30	20.92
Inertes Totais					650.41	60.41

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 1808.20

Tempo (dias) - 0

Humidade: 51.60

Peso seco: 875.20

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	11.26	1.31	---	12.57	1.44
5 redonda a 12.5 quadrada	2.67	123.11	3.16	0.39	129.33	14.78
2 a 5 redonda	2.78	61.58	← 0.38 →		64.74	7.4
< 2 redonda	← 68.94 →				68.94	7.88
Inertes Totais					275.58	31.50

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 2654.1

Tempo (dias) – 6

Humidade: 43.65

Peso seco: 1495.59

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	0.40	39.22	---	---	39.62	2.65
5 redonda a 12.5 quadrada	6.84	267.90	8.66	1.55	284.95	19.05
2 a 5 redonda	3.30	95.20	← 0.24 →		98.74	6.60
< 2 redonda	← 134.97 →				134.97	9.03
Inertes Totais					558.28	37.33

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 1739.1

Tempo (dias) - 13

Humidade: 45.70

Peso seco: 944.33

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	6.26	16.05	0.96	---	23.27	2.46
5 redonda a 12.5 quadrada	7.62	176.60	3.39	0.56	188.17	19.93
2 a 5 redonda	3.13	68.97	← 0.36 →		72.46	7.67
< 2 redonda	← 121.59 →				121.59	12.88
Inertes Totais					405.49	42.94

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 1751.4

Tempo (dias) – 13

Humidade: 45.70

Peso seco: 951.0

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	0.71	20.9	2.46	1.13	25.20	2.65
5 redonda a 12.5 quadrada	6.82	170.0	5.22	0.51	182.55	19.20
2 a 5 redonda	4.04	76.88	← 0.36 →		81.28	8.55
< 2 redonda	← 124.65 →				124.65	13.11
Inertes Totais					413.68	43.50

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 1347.3

Tempo (dias) – 20

Humidade: 41.45

Peso seco: 788.84

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	34.83	---	---	34.83	4.42
5 redonda a 12.5 quadrada	8.93	180.20	7.58	0.93	197.64	25.05
2 a 5 redonda	2.35	61.79	← 0.16 →		64.30	8.15
< 2 redonda	← 113.60 →				113.60	14.40
Inertes Totais					410.37	52.02

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 1461.0

Tempo (dias) – 28

Humidade: 26.55

Peso seco: 1073.10

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	1.75	49.62	1.18	0.22	52.77	4.92
5 redonda a 12.5 quadrada	4.80	274.40	5.75	0.85	285.80	26.63
2 a 5 redonda	3.65	107.55	← 0.67 →		111.87	10.42
< 2 redonda	← 161.60 →				161.60	15.06
Inertes Totais					612.04	57.03

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 2

Peso húmido: 1708.5

Tempo (dias) – 28

Humidade: 26.55

Peso seco: 1254.89

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	0.78	54.77	1.30	---	56.85	4.53
5 redonda a 12.5 quadrada	6.11	320.30	5.03	1.11	332.55	26.5
2 a 5 redonda	2.88	128.69	← 0.32 →		131.89	10.51
< 2 redonda	← 194.27 →				194.27	15.48
Inertes Totais					715.56	57.02

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 3

Peso húmido: 2058.4

Tempo (dias) – 0

Humidade: 53.75

Peso seco: 952.0

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	26.20	---	---	26.20	2.75
5 redonda a 12.5 quadrada	8.27	147.68	5.56	0.81	162.32	17.05
2 a 5 redonda	4.70	64.83	← 0.58 →		70.11	7.36
< 2 redonda	← 69.05 →				69.05	7.26
Inertes Totais					327.68	34.42

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 3

Peso húmido: 931.8

Tempo (dias) - 6

Humidade: 45.90

Peso seco: 504.10

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	20.63	---	---	20.63	4.10
5 redonda a 12.5 quadrada	7.58	68.42	6.36	0.61	82.97	16.46
2 a 5 redonda	0.69	16.40	← 0.41 →		17.50	3.47
< 2 redonda	← 60.98 →				60.98	12.09
Inertes Totais					182.08	36.12

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 3

Peso húmido: 1715.20

Tempo (dias) – 13

Humidade: 41.05

Peso seco: 1011.11

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	0.63	53.90	0.61	0.52	55.67	5.51
5 redonda a 12.5 quadrada	5.33	174.90	6.85	0.51	187.59	18.55
2 a 5 redonda	4.43	62.55		--	66.98	6.62
< 2 redonda	← 127.60 →				128.71	12.73
Inertes Totais					438.95	43.41

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 3

Peso húmido: 1818.0

Tempo (dias) - 20

Humidade: 38.10

Peso seco: 1125.34

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	42.12	---	---	42.12	3.74
5 redonda a 12.5 quadrada	9.47	241.50	14.77	2.80	268.54	23.86
2 a 5 redonda	3.90	106.23	← 0.82 →		110.95	9.86
< 2 redonda	← 153.72 →				153.72	13.66
Inertes Totais					575.33	51.12

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 3

Peso húmido: 1356.7

Tempo (dias) - 28

Humidade: 26.10

Peso seco: 1002.60

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	1.31	28.24	2.29	---	31.83	3.17
5 redonda a 12.5 quadrada	6.66	272.50	4.62	0.68	284.46	28.37
2 a 5 redonda	4.00	108.48	← 0.47 →		112.95	11.27
< 2 redonda	← 149.38 →				149.38	14.90
Inertes Totais					578.62	57.71

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 4

Peso húmido: 1972.5

Tempo (dias) – 0

Humidade: 52.10

Peso seco: 944.8

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	0.36	35.64	---	---	36.00	3.81
5 redonda a 12.5 quadrada	7.75	137.00	7.57	1.11	153.43	16.24
2 a 5 redonda	3.23	64.41	← 0.61 →		68.25	7.22
< 2 redonda	← 93.86 →				93.86	9.93
Inertes Totais					351.54	37.20

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra:

Célula nº 4

Peso húmido: 2264.5

Tempo (dias) – 6

Humidade: 41.35

Peso seco: 1328.13

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	--	36.76	---	---	36.76	2.77
5 redonda a 12.5 quadrada	9.11	236.80	10.64	1.03	257.58	19.39
2 a 5 redonda	1.70	92.64	← 0.26 →		94.60	7.12
< 2 redonda	← 125.45 →				125.45	9.45
Inertes Totais					514.39	38.73

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra

Peso húmido: 1771.1

Humidade: 37.70

Peso seco: 1103.4

Célula nº 4

Tempo (dias) - 13

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	2.38	38.63	10.35	---	51.36	4.65
5 redonda a 12.5 quadrada	6.63	205.2	5.03	1.06	217.92	19.75
2 a 5 redonda	3.65	78.49	← 0.71 →		82.85	7.51
< 2 redonda	← 120.39 →				120.39	10.91
Inertes Totais					472.52	42.82

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra

Célula nº 4

Peso húmido: 1784.9

Tempo (dias) ~ 13

Humidade: 37.70

Peso seco: 1111.99

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	0.79	27.07	1.26	0.07	29.19	2.63
5 redonda a 12.5 quadrada	3.79	205.80	9.12	1.44	220.15	19.80
2 a 5 redonda	6.16	60.65	← 0.47 →		67.28	6.05
< 2 redonda	← 110.75 →				110.75	9.96
Inertes Totais					427.37	38.44

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra

Peso húmido: 1905.5

Humidade: 39.75

Peso seco: 1148.06

Célula nº 4

Tempo (dias) - 20

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	37.97	---	---	37.97	3.31
5 redonda a 12.5 quadrada	12.65	283.7	9.48	1.68	307.51	26.79
2 a 5 redonda	5.23	92.88	← 0.23 →		98.34	8.57
< 2 redonda	← 130.55 →				130.55	11.37
Inertes Totais					574.37	50.03

ANEXO 5
ANALISE DE INERTES

Características da amostra

Peso húmido: 1693.7

Humidade: 34.15

Peso seco: 1115.30

Célula nº 4

Tempo (dias) – 28

Malha	Peso de elementos secos (g)				Totais	
	Metais	Vidros Pedras Mat.nat. calcária	PVC Plásticos diversos	Filmes de Polietileno e poliestireno expansível	Peso	%
> 40 quadrada						
25 a 40 quadrada						
12.5 a 25 quadrada	---	28.86	1.84	0.24	30.94	2.77
5 redonda a 12.5 quadrada	10.38	268.00	4.72	0.66	283.76	25.44
2 a 5 redonda	3.96	104.59	← 0.45 →		109.00	9.77
< 2 redonda	← 138.73 →				138.73	12.44
Inertes Totais					562.43	50.43

ANEXO 6

Influência de diversos constituintes dos resíduos sólidos nos métodos de análise (HORELLOU, 1982-83)

	Perda por calcinação % p.s.	Carbono org. (Método de ROLLE e ORSANIC) % p.s.	Carbono org. (Método de ANNE) % p.s.	Azoto orgânico (Método KJELDAHL) % p.s.
materiais celulósicos				
papel de impressão	83.9	32.6	33.9	0.07
papel de jornal	98.6	24.7	41	0.04
cartão	93.7	46.9	38.8	0.07
Plásticos				
filmes de polietileno	90.4	0	0.2	1
Policloreto de Vinilo(PVC)	100	0	3.25	0.1
Poliestireno expansível	100	0	0	0
Vidros	0	0	0	0.019
Pedras	1.5	0	0.4	0.075
Mat. de natureza calcária	1.2	0	1.8	1.11
Ferro	0	9.7	7.1	0
Alumínio	4.15	6.2	10.5	0
Cobre	3.5	12.4	1.3	0